A. GARBASSO

INCARICATO DI UN CORSO DI FISICA MATEMATICA
NELLA R. UNIVERSITÀ DI PISA

15 LEZIONI SPERIMENTALI

SU LA

LUCE

CONSIDERATA COME FENOMENO ELETTROMAGNETICO

Con centouna incisione
e tre tavole fuori testo

MILANO
Editori della Rivista L'ELETTRICITÀ
Foro Bonaparte N. 76

1897

Habla Echegaray.

El Sr. Echegaray pronunció á continuación un hermoso discurso de salutación, dirigi-

do al profesor italiano D. Antonio Garbasso, antes de entregar á éste la medalla de oro y diploma correspondientes al primer premio del concurso de 1905, alcanzado por dicho señor.

Este discurso, como obra del insigne matemático que es honra de España, produjo honda impresión en el auditorio, renovándose en el transcurso del mismo los aplausos con que el selecto público acogió las palabras del señor Echegaray.

El acto terminó imponiendo al nuevo académico, Sr. Ventosa, la medalla y entregándole el título correspondiente y haciendo á su vez entrega del premio al ilustre profesor italiano.

Milano — Prem. Stab. Tipografico Colombo e Tarra — Via Minghetti.

Prefazione

—

Questo libro riproduce, per una parte, il corso, che tenni, nella primavera del 95, come libero docente, a l'Università di Torino. Si stampa solamente ora per ragioni indipendenti da la mia volontà.

Il pubblico, al quale mi rivolgevo, era molto vario e ineguale di coltura, così che fui costretto a separare gli sviluppi teorici da l'esposizione dei loro fondamenti e delle verifiche sperimentali.

Queste lezioni, che pubblico, sono quelle relative a le esperienze. Ho conservato ad esse la forma, sotto la quale furono esposte. Principalmente perchè, avendole redatte una prima volta così, mi sarebbe riuscito troppo grave di rifarmi da capo.

Trattandosi di un argomento sul quale lavorarono, negli ultimi dieci anni, molti fra i fisici più insigni, in ogni parte del mondo, il libro non è, e non poteva essere, un lavoro del tutto originale. Pure vi sono, quà e là, alcune cose che reputo nuove.

Tutte le volte che mi giovavo di pubblicazioni anteriori, dovute ad altri o a me stesso, le ho citate scrupo-

losamente (*). *A meno che si trattasse di concetti o di fatti, entrati da tempo nell'insegnamento. Il resto va a conto mio.*

Le prime quattro lezioni contengono un riassunto di quelle cose più fondamentali dell'elettricità e del magnetismo, che occorrono ad ogni passo nel seguito. Le avrei omesse volontieri, ma a l'Editorè è parso meglio di riprodurle. Ho aderito al suo desiderio. Vuol dire che il lettore a pena versato in questi studii può lasciarle, senz'altro, da banda.

Quando tenni il presente corso, a Torino, il prof. A. Naccari mise a mia disposizione tutti i mezzi, che possiede il suo istituto, ed agevolò il mio compito con consigli ed aiuti d'ogni maniera. Sono lieto che mi si porga occasione di esprimergli pubblicamente la mia riconoscenza.

Anche sono grato a l'ing. L. Ferraris, che mi aiutò nel preparare le lezioni. Molti degli apparecchii e degli esperimenti descritti più avanti appartengono così a lui come a me.

Finalmente devo ringraziare mio fratello Alberto, tenente d'Artiglieria, il quale disegnò dal vero tutte quante le figure.

A. GARBASSO.

Pisa, Istituto fisico dell'Università
28 Maggio 1897.

(*) Nel testo i richiami fatti con asterischi si riferiscono a le annotazioni a piede di pagina; i richiami fatti con numeri a le note bibliografiche, in fondo al volume.

LEZIONE PRIMA.

Primi fatti dell'elettrostatica — Quantità, potenziale, capacità — Induzione fra corpi elettrizzati.

§ 1. — In quest'ultimo decennio si è raccolta da molte parti una ricca serie di fatti, che valgono a mettere in relazione il dominio dell'ottica e quello dell'elettricità.

I primi passi nella nuova strada, e i più decisivi, furono mossi da Enrico Hertz, che morì nel 1894, giovane ancora, professore di fisica nell'università di Bonn.

Molti fisici, in tutti i paesi civili, seguirono le sue traccie, e completarono i suoi resultati, e ne riconobbero di nuovi.

Ricorderò, fra i principali, Lodge in Inghilterra; Righi in Italia; Lecher, Rubens, Zehnder e Drude in Germania; Klemenczicz in Austria; Sarasin e De la Rive in Svizzera; Blondlot in Francia; Bjerknes in Svezia.

È mia intenzione di esporre in questo corso le cose più notevoli, trovate da codesti fisici.

Io mi studierò di essere, per quanto è possibile, semplice e piano.

Come accennavo da principio, l'argomento, che imprendo a trattare, interessa ad un tempo il campo dell'ottica e il campo dell'elettricità; dovremo quindi fare un uso continuo delle nozioni più importanti di queste due discipline. E però tali nozioni sarà conveniente di richiamare.

OTTICA - ELETTROMAGNETISMO-

Io potrei, a l'uopo, riassumere rapidissimamente, nelle prime lezioni, i fatti e i concetti, a i quali mi dovrò richiamare nel seguito; o pure accennare, volta per volta, i singoli resultati, quando se ne presenti il bisogno.

Ma poi che nel nostro studio ciò che importa sono i fenomeni elettromagnetici, e il significato ottico di essi ha un interesse secondario, mi sembra conveniente seguire una strada intermedia. Così otterremo di conciliare la chiarezza con la massima economia di tempo e di parole.

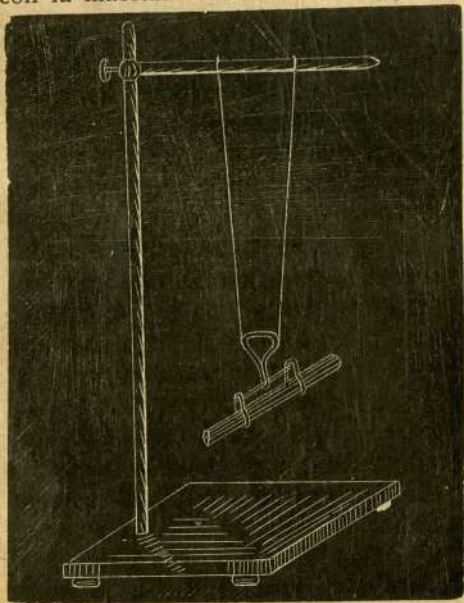



Fig. 1.

Dedicherò quindi le primissime lezioni ad un riassunto molto rapido di quelle cose, che formano oggetto di un corso ordinario sopra l'elettricità e il magnetismo, limitandomi a ricordare i fatti più importanti dell'ottica, quando l'interesse dell'esposizione lo richieda.

§ 2. — E cominciamo subito da i primi fenomeni dell'elettrostatica.

A due sottili cordoncini di seta ho sospeso (fig. 1) una staffa di filo di rame, su la quale posso disporre un tubo di vetro, assai leggero, spesso forse un centimetro e lungo venti. Il tubo assume una direzione fissa nello spazio, ma da questa si può allontanare, esercitando un piccolissimo sforzo.

Accosto ad una delle estremità del tubo sospeso un altro tubo identico, che tengo in mano, e che ho passato per un momento sopra una fiamma. Come vedono, non si osserva ora nel sistema mobile nessuna tendenza a deviare da la posizione d'equilibrio.

In vece si ha uno spostamento se, avanti di avvicinare al primo tubo il secondo, lo strofino forte con un panno-lano. Propriamente, adesso, uno dei due corpi sembra attrarre l'altro.

Se ne conclude che, per lo strofinio, il vetro assume delle proprietà particolari, che prima non aveva. E il fatto si *enuncia* dicendo che il vetro si è *elettrizzato*.

Anche un bastone di ebanite, strofinato, per esempio, con una pelle di gatto, si elettrizza; cioè fa deviare il sistema sospeso.

Il corpo sorretto da la staffa è al presente in condizioni *naturali*, vale a dire non fu per nulla sfregato. Ora è interessante di studiare come si modifichino i fenomeni quando, in vece, lo si elettrizza prima di fare le esperienze.

Per vedere questo tolgo via il tubo mobile dal suo sostegno, e lo strofino con il solito panno; quindi lo rimetto al posto e, come prima, avvicino ad una delle sue estremità l'altro tubo, anche sfregato.

Succede adesso che i due corpi si respingono.

In vece ottengo da capo un'attrazione molto chiara se al sistema mobile accosto il bastone d'ebanite, strofinato con la pelle di gatto.

Reciprocamente, se sospendessi l'ebanite elettrizzata a la staffa, troverei che un altro pezzo della stessa sostanza, nelle stesse condizioni, la respinge. Mentre il vetro, strofinato con la lana, l'attrae.

Segue di qui che vetro ed ebanite si elettrizzano in modo differente, o, come si dice, che *vi sono due diverse elettricità.*

Per ragioni, che vedremo in seguito, si distinguono queste due elettricità con i nomi di *positiva* e *negativa;* e propriamente si *conviene* di *chiamare* positiva l'elettricità del vetro strofinato con la lana, e negativa l'elettricità dell'ebanite strofinata con la pelle di gatto.

Esaminando poi, con lo stesso procedimento, qualunque altro corpo, si trova che, salvo l'eccezione dei metalli, ognuno si compoıta come il vetro o come l'ebanite. Cioè, per impiegare la terminologia usuale, *vi sono due sole elettricità.* Quanto a i metalli, se non si ricorre ad artifizii, dei quali dovremo discorrere più avanti, essi non si elettrizzano affatto.

L'apparecchio impiegato da noi per riconoscere lo stato elettrico dei corpi, se bene convenga per certe esperienze da lezione, è però alquanto rozzo. Dei resultati assai migliori si ottengono con l'uso di un comune elettroscopio a foglie d'oro.

Un elettroscopio è un pallone con un unico collo, chiuso da un turacciolo. A traverso a questo passa un asta metallica, che porta in basso due foglie sottilissime d'oro battuto. L'asta poi reca, a l'estremità superiore, una pallina di ottone.

Tocco questa pallina con un bastone di ebanite, elettrizzato nel solito modo. Come vedono, le foglie divergono; e rimangono divergenti anche quando tolgo via l'ebanite.

E bene, accostiamo ora a questo elettroscopio, senza stabilire contatto, un corpo qualunque elettrizzato. La divergenza delle foglie d' oro si modifica, e propriamente cresce, se il corpo, che impiego, è elettrizzato negativamente; diminuisce nel caso contrario.

Troverei un resultato affatto opposto se, da principio, avessi toccato la pallina dell'elettroscopio con un corpo

positivo, per esempio con un tubo di vetro strofinato contro un pannolano.

Il nostro apparecchio ci permette dunque di riconoscere l'esistenza e la natura dell'elettricità.

Ho fatto vedere dianzi come il vetro e l'ebanite si elettrizzino per strofinio. In realtà, quando due corpi vengono sfregati uno contro l'altro, entrambi si caricano di elettricità, e di elettricità opposte.

Come esempio scelgo il caso dello zolfo, strofinato con un cencio di seta. Prendo questo caso a preferenza di tutti gli altri, perchè quì il fenomeno riesce molto evidente. Strofino dunque un bastone di zolfo con un drappo di seta, e accosto successivamente il bastone e il drappo a la pallina dell' elettroscopio. E' chiaro che nel primo caso la divergenza delle foglie cresce, nel secondo diminuisce. Ma l'elettroscopio lo avevo caricato con l'ebanite. Devo quindi concludere che lo zolfo si è elettrizzato negativamente, la seta positivamente.

Farò ancora un'altra esperienza. Strofino da capo il bastone di seta con il solito drappo, ed accosto i due corpi a l'elettroscopio, senza staccarli. Ora non si manifesta nessuna azione; e pure i due corpi sono elettrizzati, ed ognuno di essi agisce come dianzi, se allontano l'altro.

Vuol dire che la carica positiva della seta neutralizza l'elettricità negativa dello zolfo. A punto come, in algebra, due quantità di segno opposto, sommate, si possono elidere. E' precisamente per questa ragione che si danno a le cariche elettriche i nomi di positive e negative. Il fissare poi quale fra le due elettricità si debba chiamare positiva, è, come ho già avvertito, affare di convenzione.

§ 3. — Oltre che per strofinio un corpo si può anche elettrizzare per contatto, cioè toccandolo con un altro corpo, precedentemente elettrizzato.

Per esempio, se carico un bastone di ebanite, strofinandolo, al solito, con la pelle di gatto, e quindi porto in contatto della parte strofinata una pallina d'ottone, che

tengo sospesa ad un filo di seta, questa, quando la accosto a l'elettroscopio, dà segno di essere elettrizzata, e precisamente di elettricità negativa.

A la carica elettrica, che un dato corpo assume, qualunque sia la sua origine, si può attribuire oltre che un segno anche una grandezza.

Guardino: io accosto, come prima, a l'elettroscopio una pallina elettrizzata; anzi, sospendendola ad un sostegno, la lascio in una posizione costante. L'elettroscopio se ne risente, e la divergenza delle sue foglie aumenta di molto.

E bene, ora tocco quella prima pallina con un'altra scarica e sospesa nel solito modo, che allontano dopo il contatto. La divergenza delle foglie diminuisce. E poi che dobbiamo giudicare da gli effetti le cause, si enuncia questo con dire che, comunicando per contatto dell'elettricità a la seconda pallina, la prima ha perduto, in parte, la sua carica. Questa è dunque suscettibile di diminuzione. Ed è suscettibile anche di aumento, tanto è vero che, per esempio, si può elettrizzare un corpo affatto scarico.

Quindi è lecito parlare della *grandezza di una carica elettrica*, o della *quantità di elettricità*, che un dato corpo possiede.

L'azione, che una carica elettrica esercita, dipende, oltre che da la grandezza della carica in quistione, anche da la distanza, che intercede tra essa e l'elettroscopio. In fatti se accosto una pallina, elettrizzata negativamente, a l'elettroscopio, carico esso pure di elettricità negativa, la divergenza delle foglie va crescendo quando la distanza diminuisce.

Qualche cosa di simile avviene anche per i fenomeni di attrazione e repulsione. Si sa anzi che le grandezze di queste azioni sono inversamente proporzionali a i quadrati delle distanze, che intercedono fra i corpi agenti.

Volendo stabilire un'unità di misura per le cariche elettriche si sceglie, di solito, come tale *una carica positiva, che respinge una carica identica, posta nell'aria o nel vuoto, a l'unità di distanza* (centimetro), *con l'unità di forza* (dina).

Bisogna aggiungere la condizione che le due cariche stiano nell'aria o nel vuoto; perchè si trova che la forza, esercitantesi fra due corpi elettrizzati, si modifica con il mezzo, nel quale i corpi stessi sono immersi. Se si sono raccolte sopra due palline di ottone, sospese nell'aria, per esempio, delle cariche, che soddisfino a la definizione dell'unità, e poi queste stesse palline si portano in un altro mezzo qualunque, disponendole ancora a l'unità di distanza, si trova che esse non si respingono più con l'unità di forza, ma bensì con una forza

$$\frac{1}{K},$$

K essendo un numero sempre maggiore dell'unità. Questa costante, caratteristica per ciascun mezzo, viene detta *costante dielettrica* del mezzo stesso.

Una carica è due, tre, quattro volte più grande di un'altra se, nelle stesse condizioni, esercita delle azioni (attrattive o repulsive) due, tre, quattro volte più grandi.

Si potrebbe parlare, come è naturale, di unità positiva e di unità negativa; ma conviene meglio definire la sola unità positiva, e chiamare unità di elettricità negativa una quantità, che neutralizza quella prima.

§ 4. — Nella carica per contatto non tutti i corpi si comportano ad un modo. Per formarci un'idea chiara di questi fenomeni, cerchiamo a quali fatti diano luogo un ellissoide di zolfo e uno di ottone, sostenuti entrambi da una colonnina di vetro.

Tocco ripetutamente i due ellissoidi in un polo, con un bastone di ebanite elettrizzato; quindi li accosto, uno dopo l'altro, a l'elettroscopio. Si vede subito che l'ottone appare carico in tutti i punti della superficie; mentre lo zolfo è elettrizzato solamente in quella regione, che fu a contatto con l'ebanite.

Come l'ottone si comportano tutti gli altri metalli, come lo zolfo l'ebanite, il vetro e molte altre sostanze.

Per ragioni, che impareremo presto a conoscere, i

corpi della prima categoria si dicono *conduttori* e quelli della seconda *dielettrici.*

Si capisce ora perchè le foglie dell'elettroscopio divergano quando elettrizzo la pallina. Essendovi comunicazione metallica fra questa e quelle, le due foglie prendono esse pure una carica del medesimo nome, e però si respingono.

L'elettrizzazione dei conduttori dà luogo ad un altro fatto interessante. Si trova cioè che vi è bensì una carica su tutti i punti della superficie esterna, ma non ve ne è affatto nell'interno del corpo.

Esaminiamo, per esempio, il comportamento di questa sfera cava, sorretta anch'essa da una colonna di vetro, e forata per modo che si può toccare la faccia interna della sua superficie.

La carico al solito modo; e quindi porto a contatto a punto della superficie interna, una pallina, appesa ad un filo di seta. Come vedono, la pallina, accostata a l'elettroscopio, non dà segno di elettrizzazione; mentre si mostra fortemente carica se, in vece, tocco con essa la palla a l'esterno.

Ma anche su la faccia esterna di un conduttore la elettricità non è, di solito, distribuita uniformemente.

Questo fatto, su la dimostrazione del quale non posso insistere, conduce a la considerazione di una nuova grandezza elettrica, la *densità superficiale.* La quale si può definire dicendo che essa è il rapporto fra la quantità di elettricità, che insiste sopra un piccolo tratto della superficie di un corpo, e la grandezza del tratto medesimo.

L'esperienza dimostra poi che, su la faccia esterna di un dato conduttore, la densità varia da punto a punto con la curvatura; e propriamente è maggiore dove la curvatura è più grande. Così, per esempio, sopra un ellissoide allungato, di rivoluzione, la densità è massima a i poli e minima a l'equatore.

Quindi si capisce che, se un conduttore è munito di

punte, precisamente su queste la carica sarà addensata al massimo grado. Si trova che, in tale caso, il conduttore non può restare a lungo elettrizzato. Ma anzi si riduce, in breve tempo, a la condizione normale. Sicchè sembra che la densità della carica non possa andare al di là di un certo limite.

§ 5. — Sappiamo già che, quando due corpi si vengono a toccare, e uno di essi è elettrizzato nel punto, dove il contatto ha luogo, anche l'altro si elettrizza.

Anche abbiamo osservato che, se il secondo corpo è un metallo (un conduttore), la carica, che esso riceve, si distribuisce su tutta la superficie, se è un dielettrico rimane confinata nel punto di contatto. La stessa esperienza si può mettere sotto una forma un po' differente.

Io prendo due elettroscopii uguali, e li colloco ad una certa distanza uno da l'altro, ad un metro, per esempio. E quindi riunisco le palline, che li terminano, con un filo sottile di seta. Poi, con un bastone di ebanite, strofinato con la pelle di gatto, carico uno degli elettroscopii.

Come vedono, l'altro rimane nello stato ordinario, cioè le sue foglie restano a contatto. La cosa si intende molto bene, se si bada che la seta, come si potrebbe verificare direttamente, è fra quei corpi, che abbiamo chiamato dielettrici.

Nel primo elettroscopio la pallina è elettrizzata (su tutta la superficie) quindi avrà una carica anche quel tratto del filo di seta, che è in immediato contatto con essa. Ma, per quanto avvertivo, ciò che resta del filo non si potrà caricare, e non si caricherà nemmeno il secondo elettroscopio.

E' facile vedere che cosa dovrà, in vece, accadere, se i due elettroscopii si pongano in relazione con un filo metallico. Allora tutto il sistema costituisce, manifestamente, un unico corpo conduttore, e però, quando si comunichi una carica ad un suo punto, tutti gli altri punti appariranno elettrizzati.

L'esperienza conferma questa previsione. Io elettrizzo da prima, con il solito bastone d'ebanite strofinato, uno degli elettroscopii; poi con una verghetta sottile di ottone, che ho sospeso a due fili di seta, tocco contemporaneamente le palline dei due apparecchii. Subito le foglie dell'elettroscopio, che era scarico, divergono anch' esse, mostrando di aver ricevuto una certa elettrizzazione.

Tutto accade dunque come se l'elettricità fosse *condotta*, lungo il filo di ottone, da un elettroscopio a l'altro. È a punto per questo che l'ottone e gli altri corpi, che si comportano com'esso (i metalli, gli acidi, l'acqua, le soluzioni saline) vengono detti, comunemente, conduttori.

§ 6. — Dianzi, quando ho messo i due elettroscopii in comunicazione tra loro, avranno osservato che, mentre le foglie dell'apparecchio scarico si aprivano, le foglie del primo elettroscopio si sono abbassate alquanto.

Se ora riunissi al sistema, metallicamente, un altro conduttore, per esempio questo grande ellissoide di ottone, sorretto da una colonnina di vetro, la divergenza delle foglie diminuirebbe ancora, in entrambi gli elettroscopii.

Più precisamente, si trova che, a parità di carica, le foglie stanno tanto più vicine quanto più estesa è la superficie libera del conduttore, comunicante con esse.

La cosa si può dimostrare con l'apparecchio semplicissimo, che vedono quì. È una bacchetta di vetro, che può girare sopra sè stessa, rimanendo orizzontale. Su questa ho rotolato un foglio di carta, foderato di stagnola. La stagnola è un buon conduttore, sicchè possiamo dire di avere quì un rotolo di sostanza conduttrice. Se lo svolgessi, naturalmente, la superficie libera aumenterebbe.

Ora, al lembo estremo della stagnola, ho appeso due fuscellini leggerissimi di paglia, i quali faranno, nel caso attuale, lo stesso ufficio che le foglie d' oro negli elettroscopii ordinarii.

In fatti, se elettrizzo questo mio conduttore, esse si staccano una da l'altra e rimangono divergenti.

E bene, andiamo svolgendo, lentamente, il rotolo di stagnola, ed osserviamo come si comportino le foglie. Già si vede che, a poco a poco, esse si vanno accostando, finchè si riducono, da ultimo, ad essere vicinissime. Se ora rifaccio il movimento in senso inverso, e torno ad avvolgere la stagnola su l'asse di vetro, le due pagliuzze si staccano, e, finalmente, ridoventano così divergenti come prima.

La terra agisce come un conduttore di grandissima superficie. Difatti se, con una verghetta d'ottone, sospesa, come dianzi, a due fili di seta, metto in comunicazione con il suolo un elettroscopio carico, le sue foglie ricadono, senza più, una su l'altra.

Quindi, se si vuole che un corpo conservi la sua carica, non lo si può appoggiare direttamente a terra; ma bisogna reggerlo, o sospenderlo, con un sostegno dielettrico, o, come si suol dire, a punto per questa ragione, *isolante*.

Un elettroscopio si scarica anche se ne tocco, semplicemente, la pallina con la mano. Ciò prova che il corpo dell'uomo si comporta come un buon conduttore.

È per questo motivo che, quando ho voluto mettere in comunicazione due sistemi elettrizzati, non ho mai toccato direttamente il conduttore interposto, ma lo sospendevo, in vece, a due cordoncini di seta.

Ho accennato da principio che un metallo non si elettrizza per strofinio, se non si prendono delle precauzioni particolari; intendevo dire che non lo si può tenere, senz'altro, in mano, come si fa per il vetro o per l'ebanite. E se ne intende ora il perchè. L'elettrizzazione, in realtà, si produce, ma va dispersa continuamente nel suolo. Questo è tanto vero, che si può ottenere una carica sensibile, se si ha l'avvertenza di unire al metallo, che si vuol strofinare, un manico di vetro, o d'ebanite, o d'altra sostanza dielettrica, per reggerlo con la mano.

§ 7. — Abbiamo veduto un momento fa che, quando

ponevo in comunicazione due elettroscopii, dei quali uno era carico e l'altro no, l'elettricità passava, almeno in parte, dal primo al secondo.

Voglio fare ora un'esperienza dello stesso genere, ma leggermente diversa. Dò ad entrambi gli elettroscopii, che sono esattamente uguali, una carica positiva; ma in modo che la divergenza delle foglie sia diversa. Quindi stabilisco la comunicazione, come prima.

Come vedono, sembra che dell'elettricità sia passata da quell'elettroscopio, dove la divergenza era maggiore, a l'altro. In guisa che ora le foglie divergono ugualmente nei due apparecchi.

Per due elettroscopii uguali, carichi positivamente, la divergenza delle foglie è dunque un criterio (*) per decidere del senso, nel quale si dovrà fare il trasporto dell'elettricità (positiva).

Ma è facile verificare che lo stesso criterio vale qualunque sia il segno della carica, che si dà a i due apparecchi. Vale cioè se da una parte e da l'altra l'elettrizzazione è negativa; come pure se la carica è positiva, mettiamo, per l'elettroscopio di destra, e negativa per quello di sinistra. Solamente, nel fare il confronto, bisognerà avere l'avvertenza di dare il segno + o il segno — a gli angoli di scostamento, che si producono, secondo che la carica, nell'elettroscopio considerato, è positiva o negativa.

Ordinariamente si dice che due corpi sono a *potenziale* o *livello elettrico* differente, se, riunendoli con un conduttore, vi è passaggio di elettricità da uno a l'altro. E si dice che il potenziale è maggiore per quello dei due corpi, dal quale parte l'elettricità positiva.

(*) Si intende che i due elettroscopii devono essere in comunicazione lontana, e lontani da ogni altro conduttore, e completamente liberi. Se, per esempio, uno di essi fosse circondato da un involucro di sostanza conduttrice, con il quale comunicasse, la divergenza sarebbe sempre nulla, per qualunque carica.

Da quanto ho detto innanzi si deduce subito che la divergenza delle foglie di un elettroscopio fornisce un mezzo per giudicare del potenziale, al quale l'elettroscopio medesimo si trova.

Due elettroscopii uguali, posti in relazione con un filo metallico, divergono ugualmente. Cioè tutti i punti di uno stesso conduttore hanno lo stesso potenziale. E questo si comprende bene, dal momento che l'elettricità, immediatamente dopo il contatto, sembra rimanere in equilibrio. In un certo senso si può dunque dire che il potenziale, sopra un conduttore, si *propaga* da una regione a le altre.

Il potenziale del suolo è uguale a zero; difatti è nulla la divergenza delle foglie in un elettroscopio comunicante con la terra.

§ 8. — Una stessa carica può produrre diversi potenziali, a seconda del corpo, sul quale si trova. Ricordano che, nell'esperimento con il rotolo di stagnola, le paglie elettroscopiche si andavano accostando od allontanando, a misura che la superficie libera cresceva o diminuiva. D'altra parte l'esperienza dimostra che due conduttori di ugual forma e grandezza prendono lo stesso potenziale, a parità di cariche, qualunque sia la sostanza, della quale sono formati. In vece due conduttori diversi di forma e di grandezza prendono in generale, a parità di cariche, dei potenziali diversi.

Si enuncia un tale fatto *dicendo* che i varii conduttori hanno, per regola, delle *capacità elettriche* differenti.

E si prende per unità di capacità *la capacità di una sfera, avente il raggio uguale a l'unità di lunghezza* (centimetro), *immersa nell'aria, e lontana da ogni altro corpo.* Si *dice* poi che un conduttore ha la capacità due, tre, quattro se, comunicandogli $2q$, $3q$, $4q$ unità di quantità, esso assume lo stesso potenziale, che prende la sfera di raggio uno con la carica q.

L'esperienza prova che la scala così stabilita è indipendente dal valore di q.

Fissata l'unità di capacità e quella di quantità, si può introdurre anche l'unità di potenziale.

Basta prendere, come definizione del potenziale, il quoziente fra la carica e la capacità. Il potenziale uno sarà dunque *il potenziale, che assume un conduttore di capacità uno, carico con l'unità di quantità.*

È facile vedere come si possa graduare un elettroscopio.

Metteremo il nostro istrumento in comunicazione, mediante due fili sottilissimi, con due palline metalliche di raggio uno. E gli daremo una carica tale che le due palline, poste di fronte una a l'altra, nell'aria, ad un metro (per esempio) di distanza, si respingano con una forza di un decimillesimo di dina. Segneremo allora l'angolo delle due foglie, il quale corrisponderà a punto al potenziale uno.

Quindi torneremo a caricare l'elettroscopio e le palline con esso, in modo che, quando le si riportano nella posizione di prima, esse si respingano con una forza quattro volte maggiore. Diremo allora che il potenziale dell'elettroscopio è uguale a due; e così di seguito.

Si capisce bene che questo metodo, che ho descritto, non è pratico. Ma basta ad ogni modo per dimostrare la possibilità di costruire un elettroscopio, in guisa che le sue indicazioni diano direttamente il potenziale.

§ 9. — Nell'elettrizzazione per contatto o per conduzione vi deve essere sempre una serie ininterrotta di corpi conduttori fra il sistema, che agisce e quello, che riceve l'azione.

Passiamo ora a studiare un'altra categoria di fenomeni, che si producono quando il mezzo interposto è dielettrico.

E anzi tutto, avranno veduto parecchie volte, in questa stessa lezione, che se, per caso, un corpo elettrizzato viene a passare in vicinanza di un elettroscopio scarico, le foglie di questo divergono.

Se prendiamo ad esaminare con cura il fatto, ci ac-

corgiamo subito di una particolarità interessante. E di vero si osserva che la divergenza delle foglie dura fino che il corpo è prossimo a l'elettroscopio; ma cessa non a pena lo porto ad una certa distanza.

Ora è facile trovare quale sia il meccanismo del fenomeno. Si verifica in fatti che, mentre il corpo agente (o, come si dice, l'*induttore*) esercita la sua azione, esistono sul corpo passivo, l'*indotto*, delle cariche positive e negative. E se l'induttore è elettrizzato positivamente, l'elettricità negativa si porta in quelle parti dell'indotto, che sono più prossime ad esso, la positiva nelle parti più lontane; accade l'opposto se la carica inducente cambia di segno.

Poi che l'indotto torna a lo stato naturale, quando l'induttore si allontana, dobbiamo dire che le due cariche opposte, generate sul corpo passivo, erano uguali in grandezza (*).

Si studia comodamente il fatto dell'*induzione*, impiegando come indotto un sistema di due elettroscopii, riuniti da un filo conduttore.

Per fare l'esperienza, prendo quei due elettroscopii uguali, che ho già impiegato dianzi. E li collego con una verghetta di ottone, munita di un manico di vetro.

La verghetta porta a le estremità due anellini, anche di ottone, che stanno in un medesimo piano con essa e fra loro. Tengo i due elettroscopii ad una distanza tale che gli anelli si possano appoggiare, contemporaneamente, su le due palline. Gli elettroscopii e la verga di ottone formano adesso un unico sistema conduttore.

(*) Almeno secondo le nostre convenzioni. Che una certa quantità di elettricità positiva neutralizzi una certa quantità di elettricità negativa, è un *fatto* sperimentale. Che le due quantità in quistione abbiano la stessa grandezza, è affare di *definizione*. Definizione ragionevole bensì, perchè l'esperienza dimostra che le quantità negative, così definite, esercitano, in ogni caso, azioni uguali di grandezza e contrarie di segno a quelle esercitate da le quantità positive, che si misurano con lo stesso numero.

Per ora non vi è traccia di cariche. E bene, accostiamo a l'apparecchio di destra un bastone di vetro, strofinato con il pannolano. Le sue foglie si aprono immediatamente; ma si aprono anche, ad un tempo, le foglie nell'elettroscopio di sinistra. Se togliessi il corpo elettrizzato, ogni segno di carica, nell'indotto, sparirebbe.

Lasciamo in vece l'induttore al suo posto; e allontaniamo rapidamente la verghetta di comunicazione. Come vedono, non vi è nessun cambiamento apparente. Di quà e di là la divergenza delle foglie rimane quella di prima.

Ma ciò, che è più interessante, si è che ora gli elettroscopii continuano ad essere carichi, anche se rimovo l'induttore. E sono carichi di elettricità di segno opposto. Negativamente quello dei due apparecchi, che era più vicino al vetro elettrizzato, e positivamente l'altro.

Questo è d'accordo con ciò, che avevo annunciato.

Al fenomeno dell'induzione, che così abbiamo imparato a conoscere, è dovuto a punto il comportamento degli elettroscopii.

Suppongano, per esempio, di aver dato a l'apparecchio di misura una carica positiva; e di accostare poi a la pallina un corpo, anche positivo. Questo, per induzione, richiamerà in alto dell'elettricità negativa e respingerà una certa quantità di elettricità positiva su le foglie. In conseguenza esse divergeranno in maggiore misura. L'opposto avverrebbe se il corpo inducente avesse una carica di nome diverso da quella dell'elettroscopio; perchè, in questo caso, l'elettricità indotta tenderebbe a distruggere l'effetto di quella preesistente su le foglie.

Le leggi quantitative dell'induzione sono assai complicate, in generale. Solamente in un caso particolare si possono ridurre sotto una forma assai semplice. E' il caso in cui l'induttore si trova dentro l'indotto, e questo lo circonda da ogni parte.

Allora si dimostra, con alcune semplici esperienze.

dovute al Faraday: che le cariche generate per induzione non dipendono dal posto dove sta l'inducente (purchè rimanga nell'interno del corpo, sul quale agisce). Di più le due cariche indotte sono entrambe uguali (in grandezza) a l'inducente.

§ 10. — Sul fatto dell' induzione e su le proprietà delle punte sono fondate le macchine elettriche, apparecchi, che si impiegano comunemente per produrre delle cariche. Noi ne adopereremo, in questo corso, di varie sorta, e cioè quelle del Ramsden, del Holtz e del Whimshurst. Non le descrivo, perchè questo ci porterebbe lontano; e, d'altra parte, la descrizione di tali macchine si può trovare in qualunque trattato.

Mi limito a rammentare che la macchina del Ramsden fornisce solamente dell'elettricità positiva; in vece le altre due, che ho nominato, danno ad un tempo cariche positive e cariche negative (*).

* * *

§ 11. — Volendo riassumere le cose, che abbiamo veduto in questa prima lezione, ricorderò come, dopo aver richiamato alcuni fatti principalissimi dell'elettrostatica, ho stabilito i concetti di quantità, di potenziale e di capacità, dei quali faremo uso continuamente in seguito.

Anche ho fatto un cenno del fenomeno dell'induzione fra corpi elettrizzati.

(*) I conduttori sopra i quali, nelle macchine, si raccoglie l'elettricità si chiamano *poli* o *estremità polari*.

LEZIONE SECONDA.

Importanza del dielettrico nel fatto dell'induzione — Teoria del Mossotti — Energia di polarizzazione elettrostatica.

§ 1. — Uno dei fatti più notevoli, che dipendono dal fenomeno dell' induzione, consiste nell' aumento, che subisce la capacità di un conduttore, quando glie se ne accosta un altro, a breve distanza. E si capisce come questo avvenga.

Nel corpo accostato si inducono delle cariche, le quali hanno per effetto risultante di attrarre la carica inducente. Questa riesce così meno facile a muovere, vale a dire il suo potenziale si abbassa.

La cosa si verifica collegando un elettroscopio (elettrizzato) con un disco metallico isolato, e poi presentando a questo un altro disco simile, e scarico. La divergenza delle foglie, nell'elettroscopio, diminuisce di molto, ciò che corrisponde a punto ad un abbassamento del potenziale.

È precisamente in vista del fenomeno, che ora constatiamo che, parlando della capacità dei conduttori, dissi che si dovevano considerare dei corpi isolati nello spazio, o dei sistemi costituiti di corpi molto lontani gli uni da gli altri e messi in relazione con fili metallici sottili.

§ 2. — Fino ad ora noi abbiamo studiato degli effetti, che si producono *in distanza*, a traverso a l'aria atmo-

sferica; vogliamo adesso esaminare quali perturbazioni produca nel fenomeno la presenza di un corpo solido, inserito fra l'indotto e l'induttore.

Prendo anzi tutto una lastra ampia e sottile di latta, che metto in comunicazione con il suolo, semplicemente tenendola in mano. E la dispongo in modo da coprire l'elettroscopio, senza toccarlo. Quindi accosto il solito bastone elettrizzato, *al di là* della lastra, per modo dunque che da l'elettroscopio non lo si possa vedere.

Ora, accade che l'azione induttrice è soppressa completamente; mentre riapparirebbe, quando togliessi via la latta.

Come questo mio schermo si comporta qualunque altra lastra di sostanza conduttrice. Troviamo dunque una nuova proprietà dei corpi conduttori, che è di impedire le azioni induttive.

La proprietà, di cui parlo, è veramente peculiare dei metalli; perchè, se sostituissi la latta, per esempio, con questo largo foglio di ebanite, l'induzione continuerebbe sempre ad esercitarsi. È a punto per tale motivo che le sostanze non conduttrici si chiamano comunemente dielettriche, come ho già accennato.

§ 3. — Il fatto che la capacità di un corpo dipende da la posizione delle masse metalliche nel suo intorno è, secondo ciò, che dicevo da principio, un fenomeno di induzione. Esso fornisce il modo di studiare un po' da vicino se e come la natura del mezzo dielettrico interposto agisca su la grandezza delle azioni induttive.

Faremo, per rischiarare questo punto, un'esperienza assai semplice (1).

L'apparecchio (fig. 2) consta di tre parti. Vi è anzi tutto un conduttore alquanto capace, una sfera d'ottone di dieci centimetri di diametro, sorretta da una colonnina di vetro. Quindi un sistema di due lamine metalliche parallele, delle quali posso variare agevolmente la distanza; fra le lamine interporrò a suo tempo una lastra di vetro,

appoggiandola ad un telaio disposto a l'uopo. Da ultimo ho ancora quì un elettroscopio a foglie d'oro, assai sensibile.

Con due fili metallici sottili io posso riunire, a l'occorrenza, la sfera con la prima lamina, e la seconda lamina con la pallina dell'elettroscopio.

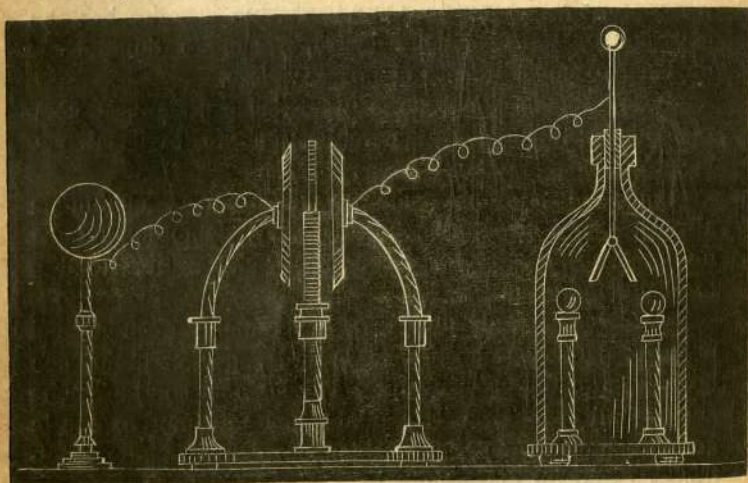



Fig. 2.

Stabilisco, anzi tutto, la comunicazione fra i due conduttori di sinistra, e li carico, fortemente, di elettricità positiva. Per induzione la seconda lamina si elettrizza ed assume un potenziale diverso da lo zero (e precisamente positivo). Ma basta, come si intende subito, che io la tocchi con il dito, perchè il suo livello elettrico si riduca uguale a quello del suolo.

Voglio fare questo, e poi stabilire la seconda comunicazione. L'elettroscopio non si muove; ciò che, del resto, si poteva prevedere.

Ora, badino, su la lamina di destra, vi è dell'elettricità negativa, la quale è immobilizzata da l'elettricità positiva, che sta su la lamina di sinistra. Se io, in qualche

modo, potessi variare e, per esempio. accrescere questa carica inducente, avrei da capo un effetto induttivo e il potenziale della seconda lamina salirebbe di nuovo al di sopra dello zero.

Ma da che dipende la carica della lamina di sinistra? evidentemente da la sua capacità. Per vero, sopra il sistema formato da questa prima lamina e da la sfera di ottone vi è una quantità di elettricità determinata, la quale si deve distribuire su i due conduttori, che formano il sistema, per modo da produrre in entrambi il medesimo potenziale. Quindi, se la capacità della lamina, poniamo, aumentasse, dell'elettricità dovrebbe passare da la sfera ad essa.

D'altra parte sappiamo che la capacità della lamina di sinistra dipende, fra l'altre cose, da la presenza della lamina di destra. Abbiamo dunque, senz'altro, un mezzo per riconoscere se e come questa azione, che s'esercita fra i due conduttori affacciati, dipenda da la natura del dielettrico.

Basterà che, nel modo che ho detto avanti, io interponga la lastra di vetro. Eseguisco; e subito le foglie dell'elettroscopio si aprono. Accostando a la pallina un bastone di ebanite, strofinato con la pelle di gatto, la divergenza diminuisce; si tratta dunque di una carica positiva.

Vuol dire che, per l'interposizione della lastra di vetro, la capacità della prima lamina si è accresciuta.

Posso ripetere l'esperienza in un modo alquanto diverso; il resultato sarà, naturalmente, il medesimo.

Toccando con il dito la pallina dell'elettroscopio riduco, di nuovo, a lo zero il suo potenziale. E poi tolgo via la lastra di vetro, badando a non urtare le lamine. Ancora una volta le foglie d'oro divergono; ma se avvicino adesso l'ebanite elettrizzata la divergenza cresce; la carica è dunque negativa. E deve essere così.

Perchè, portando via la lastra di vetro, ho abbassato di nuovo la capacità della prima lamina. Quindi una parte

della sua carica è tornata su la sfera di ottone. Ciò che resta non è più sufficiente per mantenere su la seconda lamina tutta la elettricità negativa, generata per induzione; quindi il potenziale di quest' ultima (e dell' elettroscopio) scenderà al di sotto dello zero.

L'esperienza dimostra che *tutti* i corpi dielettrici agiscono nello stesso senso del vetro, benchè in misura differente.

Si supponga di avere un sistema di due lamine metalliche, come quello, che abbiamo impiegato dianzi; e si determini la capacità di una delle lamine, quando il mezzo interposto è l'aria, e sia C. Si determini poi la capacità della stessa lamina, sostituendo completamente l'aria con un altro corpo qualunque, di costante dielettrica K; si troverà per valore non più C, ma KC.

§ 4. — Questa esperienza, che ho fatto ora, basta già per mettere in luce la grande importanza del mezzo dielettrico nei fenomeni di induzione.

Dal riconoscere che l'effetto induttivo *dipende* da la natura del dielettrico al pensare che l'azione stessa induttiva si *faccia nel* dielettrico e *per il* dielettrico, il passo è breve. E vi sono delle buone ragioni per pensare che le cose vadano realmente così.

È noto che un sistema di due conduttori, separati in qualche modo da uno strato di sostanza dielettrica, come quello, ad esempio, che abbiamo impiegato or ora, si suole indicare con il nome di *condensatore*. I condensatori si fanno di molte forme differenti.

Spesso hanno l'aspetto di bottiglie, le così dette bottiglie di Leida. Allora il dielettrico è rappresentato dal vetro; i conduttori o le *armature*, come si chiamano anche, sono due fogli di stagnola. Altre volte si forma un condensatore con tre vasi a tronco di cono, che entrano uno nell'altro; quello intermedio è di vetro, e gli esterni sono di lamina di ottone. A punto così è costituito l'apparecchio, che tengo sul tavolo, davanti a me.

Si possono fare con i condensatori molte esperienze interessanti. Per esempio, scaricandoli, si possono ottenere delle scintille molto chiare e rumorose. E di vero è un fatto generale questo che, quando due conduttori, a potenziale differente, si avvicinano al disotto di una certa distanza (*), la ricomposizione delle elettricità si fa a traverso al dielettrico, mediante una *scarica*, che nelle condizioni ordinarie ha l'aspetto di scintilla.

La possibilità di ricavare delle scintille da un condensatore, in date circostanze, costituisce un criterio per giudicare dell'esistenza di una carica su le armature del condensatore medesimo. Di questo criterio ci serviremo spesso.

Voglio fare ora un'esperienza servendomi dell'apparecchio tronco-conico, che ho già descritto.

Anzi tutto lo carico. Per questo metto *a terra,* cioè in comunicazione con il suolo, l'armatura esterna, tenendola con la mano, e pongo l'altra armatura in contatto con il conduttore di una macchina del Ramsden in azione.

Quindi colloco il conduttore sopra un sostegno isolante, e separo uno da l'altro i tre vasi, di cui è formato. È chiaro che le armature, se anche avevano una carica, ora non la possono più avere; in vece potrebbe essere elettrizzato il dielettrico. Mi persuado che la cosa sta veramente così, accostandolo ad un elettroscopio; le foglie dell'apparecchio di misura accusano una divergenza molto chiara.

E bene, ricomponiamo ora il condensatore, e vediamo se sia possibile cavarne delle scintille. A tale uopo prendo un filo metallico, piegato ad arco, e munito di palline a le estremità, e lo pongo in contatto, da una parte, con l'armatura esterna. E poi accosto la pallina dell'altro estremo a l'armatura interna. Quando sono giunto ad una distanza di pochi millimetri, si produce una scintilla assai chiara e robusta.

(*) Che dipende da la differenza dei loro potenziali.

Vuol dire dunque che ciò che importa nel condensatore è l'elettrizzazione del dielettrico; in tanto le armature appariscono cariche in quanto sono a contatto con le faccie opposte del dielettrico elettrizzato.

§ 5. — Come tutte queste cose avvengano si può concepire in diversi modi. Abbiamo in fatti varie teorie dell'induzione elettrostatica, che permettono di intendere la parte, che il dielettrico prende nella produzione del fenomeno.

Fra queste la più antica e la più semplice si deve ad un fisico italiano, il Mossotti. E voglio farne un cenno.

Il Mossotti supponeva che ogni mezzo dielettrico fosse costituito da tanti elementi (che ci possiamo raffigurare in forma di aghetti) di natura metallica, immersi in una sostanza cattiva conduttrice. Le cose sarebbero ordinate per modo che due aghetti non possano mai venire direttamente a contatto. Quando, per una ragione qualunque, in un dato punto dello spazio, si produce una *forza elettrica*, vale a dire una causa, che tende a muovere in un senso determinato l'elettricità positiva, e nel senso opposto la negativa (*), gli aghetti, che si trovano nell'intorno, si disporranno secondo la direzione della forza, e assumeranno a le due estremità delle cariche, uguali di grandezza e contrarie di segno.

Non a pena alcuni elementi si siano *polarizzati* in questo modo, qualcosa di simile avverrà anche in altri punti, man mano più lontani, sicchè *la forza elettrica si propagherà nel mezzo.*

Dei corpi conduttori poi il Mossotti ammetteva che in essi non gli aghi soltanto, ma anche la sostanza, nella quale sono immersi, sia capace di condurre l'elettricità. Quindi nell'interno di un conduttore la *polarizzazione* po-

(*) Propriamente si suol chiamare *forza elettrica* in un punto dello spazio la forza, che agirebbe in quel punto sopra un piccolo corpo, recante l'unità di quantità (positiva).

trebbe bensì prodursi, ma non potrebbe sussistere, e solamente la superficie riceverebbe una carica; come avviene in realtà.

Dell'ipotesi più importante di questa teoria, secondo la quale gli aghi conduttori si devono disporre dovunque nella direzione della forza elettrica, si può dare con tutta facilità una verifica sperimentale.

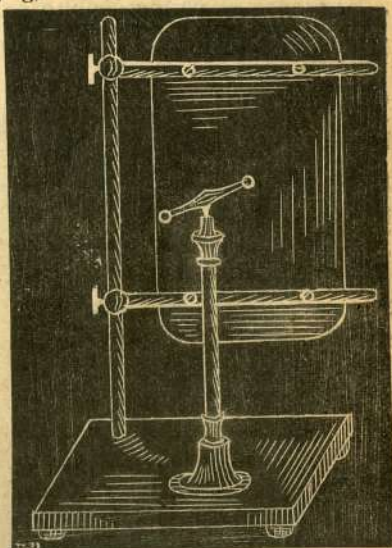
È destinato a punto ad una simile verifica l'apparecchio, che vedono quì (fig. 3).

Esso consta essenzialmente di una larga lastra di latta, con i vertici arrotondati, sorretta da un sostegno isolante. Davanti a questa lastra, in bilico sopra una punta, sta un'asticciuola di ottone, terminata da due palline.

Fig. 3.

Collego metallicamente la lamina di latta con il conduttore di una macchina elettrica, e faccio agire quest'ultima. Subito l'asticciuola mobile si dispone normalmente al piano della lastra; ed è chiaro che a punto così deve essere diretta, in quella regione dello spazio, la forza elettrica.

Del resto la teoria del Mossotti acquista un certo grado di accettabilità da la circostanza che, in base ad essa, si possono prevedere taluni curiosi fenomeni, a i quali dà luogo la carica di un condensatore.

Supponganо in fatti di considerare un sistema di due lastre parallele, affacciate a breve distanza e cariche di

elettricità opposte. Per ragioni di simmetria si capisce che, almeno nella parte di mezzo, la forza elettrica sarà perpendicolare a la giacitura delle armature.

Due aghetti, che si trovino nel dielettrico, sopra uno stesso piano, appartenente a quella giacitura, staranno dunque normali a le lastre e paralleli fra loro. Ma, avendo le estremità, che guardano da una medesima parte, cariche dello stesso segno, i due aghetti tenderanno ad allontanarsi uno da l'altro.

La cosa si verifica subito con questa semplice disposizione, che realizza, per quanto è possibile, le condizioni supposte da la teoria. Si tratta, come vedono (fig. 4), di

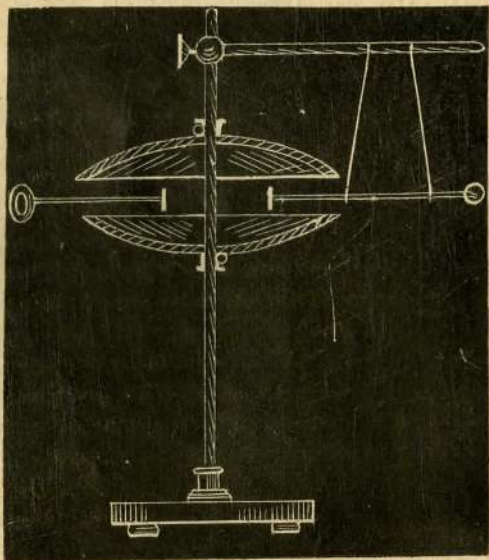



Fig. 4.

due piatti di zinco, paralleli, e portati da un medesimo sostegno isolante.

Al sostegno stesso, per mezzo di un braccio e di due fili di seta, è affidata una bacchettina sottile di vetro, che

regge, a l'estremità, un cilindretto di ottone. L'apparecchio è disposto in modo che questo cilindro viene a trovarsi fra le due armature, ed è normale ad entrambe.

Un altro cilindretto simile, portato anche da una bacchetta di vetro, tengo in mano, ed accosterò, a suo tempo, a quel primo.

Carichiamo il condensatore, ponendo a terra una delle armature ed elettrizzando l'altra. Con questo il cilindro sospeso si sarà polarizzato. E bene accostiamogli ora, parallelamente, l'altro cilindretto. Come vedono si produce una repulsione assai vivace; d'accordo con quello, che avevamo preveduto.

Tradotto in altre parole questo resultato significa che, quando un dielettrico si elettrizza, esso viene stirato normalmente a la direzione della forza elettrica.

Andiamo innanzi e consideriamo ciò che deve avvenire fra due aghetti allineati sopra una retta perpendicolare a le armature. Poi che le estremità affacciate hanno cariche di nome contrario, i due aghetti, manifestamente, si devono attrarre. Arriviamo dunque ad un'altra conclusione, che, per la sua semplicità, non ha nemmeno bisogno di verifica sperimentale; troviamo cioè che un dielettrico elettrizzato è soggetto a compressione secondo la direzione della forza.

Se tutte queste conseguenze della teoria sono attendibili, ci dobbiamo aspettare che una bottiglia di Leida, quando si carica, aumenti di capacità (*).

Ora questo fatto fu posto in chiaro, molti anni or sono, dal Govi (2), e non è difficile verificarlo.

Nel condensatore, che impiegheremo per fare l'esperienza (fig. 5), il dielettrico è costituito da una bottiglia di vetro; l'armatura esterna è un cilindro di lamina di ottone.

Quanto a l'armatura interna essa manca, o, meglio,

(*) Di volume.

è rappresentata dal liquido, che riempie la bottiglia. Si tratta nel caso nostro di acqua, tinta in rosso con un colore d'anilina.

La bottiglia, a la parte superiore, è chiusa ermeticamente con un tappo; per modo che non resti aria nell'interno, ma il liquido riempia tutta la cavità.

A traverso al tappo passa anzi tutto un conduttore, munito di palline a i due capi, il quale serve per caricare l'apparecchio; e poi un tubo capillare, aperto a gli estremi. In questo entra l'acqua tinta, e sale fino ad una certa altezza.

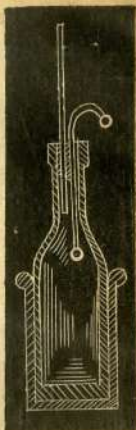
Fig. 5.

Ogni variazione del volume interno della bottiglia si traduce in uno spostamento dell'indice liquido, nel tubo capillare. Basta, per esempio, che io stringa il condensatore con le mani, perchè la colonnina d'acqua accenni sensibilmente a salire.

Per vero questi spostamenti sono sempre assai piccoli, e con difficoltà si potrebbero vedere bene a distanza. Riparo a l'inconveniente proiettando un'imagine ingrandita del tubo capillare, sopra uno schermo bianco.

Mi valgo a l'uopo di una lanterna di proiezione. È un apparecchio, del quale mi servirò spesso in queste mie lezioni.

La lanterna (fig. 6), in cui brucia un lume Auer, a gas e, illumina vivacemente il tubetto capillare, unito a la boccia di Leida. Una lente biconvessa fornisce quindi di quest'ultimo una imagine reale, capovolta e ingrandita, che raccolgo sopra uno schermo di tela bianca umida (*).

Quì l'indice appare come una colonna rossastra, larga parecchi centimetri, occupando la parte superiore di quel tratto del tubo capillare, che si proietta nel campo illuminato

(*) Si confronti la figura 61, nella quale è rappresentata una disposizione, simile in tutto a quella, che quì si descrive.

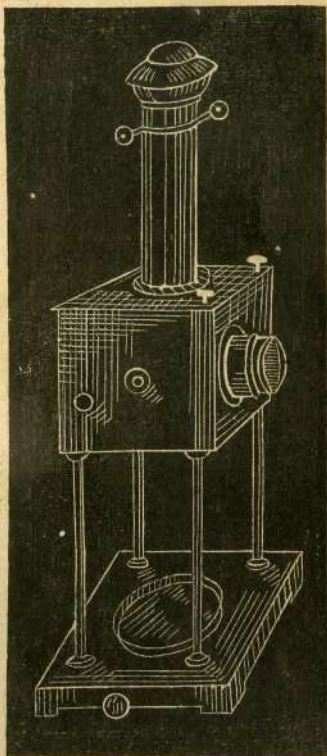
Carichiamo la bottiglia di Leida. Mentre l'operazione si fa, la colonna liquida si va alzando, lentissimamente; ciò che corrisponde a punto ad un aumento della capacità interna, occupata da l'acqua.

Ma forse questo movimento, così poco rapido, non ha potuto essere bene avvertito da tutti.

Si vede, in vece, con grande nettezza, che la boccia si restringe ad un tratto quando, provocandosi la scarica, cessa la polarizzazione del dielettrico. Per vero, se cavo da la bottiglia una scintilla, nel solito modo, l'indice rosso, su lo schermo, scende istantaneamente di parecchi centimetri. E torna press'a poco a la posizione, che occupava da principio.

Fig. 6.

Con questo è provato a sufficienza il fatto, che avevo annunciato; fatto, al quale si dà per solito il nome di *elettrostrizione* (*).

§ 6. — Sappiamo da la meccanica che a la deformazione di un sistema elastico corrisponde sempre la presenza di una certa quantità di *energia potenziale*. Di

(*) Con il fenomeno dell'elettrostrizione sono collegati, in certo modo, quelli della *piezoelettricità* e della *piroelettricità*. I quali consistono nello sviluppo di cariche elettriche, che si può osservare in certi cristalli, assoggettati a compressione e riscaldamento.

energia, cioè, la cui esistenza non si rivela direttamente a l'esterno, ma si può dedurre dal fatto che, cessando la deformazione, il sistema è capace di produrre un certo lavoro, o di fornire una quantità di calore, o di provocare qualunque altro fenomeno, che esiga il consumo di lavoro o di calore.

Abbiamo il diritto di aspettarci che qualche cosa di questo genere si verifichi quando si scarica un condensatore. E in realtà avviene così.

Quanto a la produzione di calore si può ritenerla come dimostrata indirettamente dal fenomeno della scintilla; perchè si sa che, di regola, uno sviluppo di luce è accompagnato da un aumento di temperatura.

Fig. 7.

Si può darne, del resto, una prova diretta con un piccolo apparecchio, che dal suo inventore, il Villari, fu chiamato termometro a scintille (3).

E', in sostanza, un pallone di vetro, a tre colli (fig. 7).

Due di questi sono chiusi da tappi, attraverso a i quali passano dei conduttori, muniti di palline; il terzo si prolunga in un tubo capillare.

Il pallone è capovolto sopra un bicchiere, nel quale sta un miscuglio d'acqua e glicerina, tinto in rosso nel modo ordinario. Quì dentro viene a pescare il tubetto sottile.

Scaldando con una fiamma il matraccio, se ne fanno uscire alcune bolle d'aria; per modo che, quando l'apparecchio ritorna a la temperatura dell'ambiente, il liquido salga nel capillare, fino a la metà della sua altezza, a l'in circa.

Ogni aumento di temperatura nell'interno del pallone dà luogo, come si intende subito, ad un abbassamento dell'indice glicerico. O, se vogliono, ad un moto verso l'alto della sua imagine, proiettata con la lanterna su lo schermo.

E bene, provochiamo due o tre volte, a traverso l'intervallo, che resta fra le palline, la scarica di un condensatore. Appare subito quello che si attendeva, cioè la colonna rossa si sposta verso la parte superiore del campo.

Anche possiamo vedere facilmente, con quest'altro apparecchio (fig. 8) (*), come un condensatore, scaricandosi,

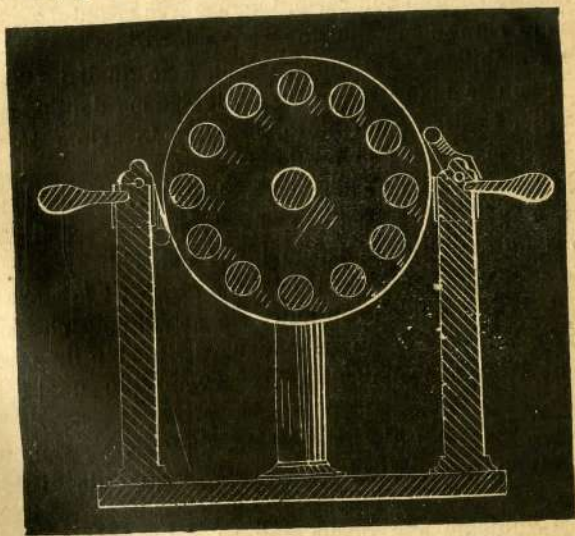



Fig. 8.

sia capace di produrre un lavoro. Propriamente si ottiene quì di imprimere un movimento ad un sistema materiale (4).

Si tratta di due dischi di ebanite, tenuti insieme da un asse e da dodici colonnine anch' esse di ebanite. A

(*) La figura rappresenta una sezione dell' apparecchio in discorso, fatta con un pinao normale a l' asse di rotazione nel suo punto di mezzo.

brevissima distanza da l'orlo dei dischi, e parallelamente a le colonnine, sono disposti due cilindretti di ottone, dei quali uno sta alquanto più in alto dell'asse, e l'altro, in vece, un poco al di sotto. Questi cilindretti sono collegati metallicamente a due pezzi in forma di pera. Su i quali appoggierò più tardi delle asticine conduttrici, comunicanti con le armature interne di due boccie di Leida.

Per caricare i condensatori io metto a punto le loro armature interne in contatto con le *estremità polari* di una macchina del Wimshurst, con due conduttori dunque, elettrizzati di segno contrario. Quanto a le armature esterne esse sono riunite metallicamente fra loro.

Ora stabilisco le comunicazioni, a le quali ho accennato. E con la mano tengo fermo il sistema dei due dischi di ebanite. Frattanto un aiuto, ponendo in azione la macchina elettrica, carica le bottiglie.

Quando mi sembra che i condensatori debbano trovarsi in condizioni opportune, faccio sospendere il movimento della macchina e lascio liberi i dischi.

Come vedono, essi cominciano a girare; e la rotazione si mantiene per qualche minuto. Se aspettiamo che si arrestino, e poi cerchiamo di cavare delle scintille da le bottiglie, troveremo che non conservano più una carica sensibile.

L'elettrizzazione del dielettrico, dunque, è scomparsa, e nel frattempo si realizzava una certa quantità di forza viva.

Così abbiamo una prova novella dell'esistenza di una specie particolare di energia potenziale, a la quale si potrebbe dare il nome di *energia di polarizzazione elettrostatica.*

§ 7. — Una volta che abbiamo riconosciuto come le forze elettriche generino nei corpi cattivi conduttori certe speciali deformazioni, è ovvio pensare che il fatto stesso dell'elettrizzazione sia collegato intimamente con quelle deformazioni.

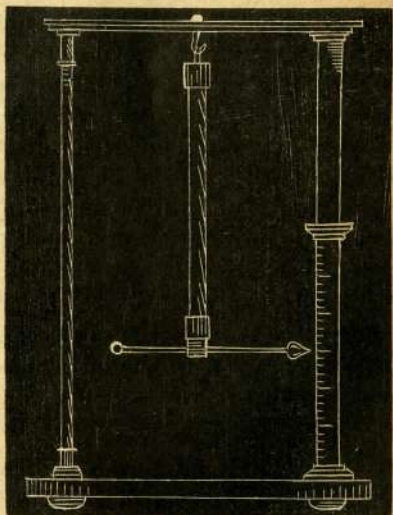
E poi che si tratta di fenomeni simili in tutto a quelli che le forze ordinarie (meccaniche) producono nelle sostanze elastiche, ci possiamo aspettare che si verifichi una certa analogia fra i fatti dell'elasticità e quelli della polarizzazione elettrostatica.

Questo è, veramente, il modo nel quale suole procedere il nostro spirito, per formare le scienze di osservazione. Noi raccogliamo da prima una serie di fenomeni sotto una medesima ipotesi; e poi, da l'ipotesi stessa, deduciamo la possibilità di nuovi fatti. Verificando i quali si raggiunge una più profonda cognizione delle cose, e si intravede spesso un modo più perfetto d'intenderle. Quindi nasce l'idea di altre ricerche sperimentali, e così di seguito, a l'infinito.

Nel caso, che ci occupa, il ravvicinamento fra i fenomeni dell'elettrizzazione e quelli dell'elasticità suggerisce a punto alcune esperienze interessanti. E, per esempio, si riesce ad ottenere un fatto, che corrisponde a quello dell' elasticità *sussequente*.

Fig. 9.

Mi spiego. Ho sospeso ad un uncino, per una sua estremità, un tubo di gomma (fig. 9), il quale, a l'altro estremo, porta un indice orizzontale. Questo indice si può spostare sopra una scala graduata, e, al presente, segna su di essa lo zero.

Con la mano stiro il tubo di gomma, e lo allungo di una decina di centimetri, e lo tengo per un certo tempo

nella nuova posizione. Quindi lo abbandono a sè. Esso si contrae e si raccorcia, ma non torna esattamente nelle condizioni di prima. L'indice rimane ora più basso di una divisione a l'in circa. E si va alzando solo con grande lentezza, così da ritrovarsi a lo zero fra una mezz'ora o poco più.

In vece di condurre l'esperienza in questo modo, io la potrei fare diversamente. Potrei trattenere il tubo nella posizione attuale, e rilasciarlo libero dopo qualche minuto. Allora avrei di nuovo un piccolo scatto e uno sbalzo repentino nelle indicazioni dell' indice. E così via.

E bene, dei fatti simili in tutto a questi si osservano durante la scarica di una bottiglia di Leida.

Stirare il tubo di gomma e mantenerlo nello stato di deformazione, è caricare il condensatore e tenere isolate una da l'altra le sue armature.

Abbandonare a sè il tubo elastico, vuol dire provocare la scarica.

Lasciare che l'indice torni lentamente a lo zero, significa tener collegate le due armature.

Arrestare l'estremo inferiore nella nuova posizione e rimetterlo in libertà dopo qualche tempo, importa di interrompere il contatto a pena la scarica è avvenuta, e cercare poi di ottenere da capo delle scintilline.

In realtà l'esperienza riesce e da una bottiglia di Leida si possono cavare, una dopo l'altra, ad intervalli un po' grandi, cinque o sei scintille, che diventano man mano più deboli.

***

§ 8. — In questa lezione dunque, procedendo nello studio dei fenomeni di induzione, abbiamo avuto campo di rilevare la parte, che prendono in essi le sostanze dielettriche.

Abbiamo veduto come in codesti corpi l'elettrizzazione sia accompagnata da deformazioni. E ci è riuscito di mostrare che il fenomeno stesso della polarizzazione dielettrica ha dei tratti comuni con quelli, che si originano da l'elasticità.

LEZIONE TERZA.

Movimento dell'elettricità a la superficie dei dielettrici; e nell'interno dei conduttori solidi, liquidi ed aeriformi.

§ 1. — Nelle lezioni passate ho discorso sempre dei fenomeni offerti da le cariche elettriche in equilibrio; e se, per caso, si parlava di movimenti dell' elettricità, noi badavamo piuttosto a le conseguenze del moto, una volta compiuto, che non a i fatti, che lo accompagnano.

Oggi vogliamo esaminare un po' da vicino quest'altra quistione, e ci occuperemo anzi tutto di ciò, che accade quando una carica si sposta a la superficie di un corpo dielettrico.

Io prendo un disco di ebanite, foderato di stagnola sopra una delle faccie, e lo dispongo orizzontalmente, per modo che rimanga in basso lo strato conduttore. Metto quest'ultimo in comunicazione con il suolo. E, poi sopra l'ebanite, in direzione verticale, fisso con un sostegno un lungo ago di acciaio, con la punta a l'in giù, e una pallina metallica a l'estremo superiore (*).

Il sostegno è di tale altezza che la punta dell'ago viene a sfiorare la superficie dell'ebanite.

(*) La disposizione attuale ha una certa somiglianza con quella della figura 12.

Ora carico una bottiglia di Leida, nel solito modo, tenendola in mano, per l' armatura esterna. E, per precauzione, metto a terra l'armatura, oltre che con il mio corpo, ancora con una catenella di rame. Quindi avvicino il bottone del condensatore a l'altro, che termina l'ago di acciaio. Quando la distanza è divenuta abbastanza piccola, passa tra le due palline una scintilla. L'ago adunque riceve una carica. Ma questa, come sappiamo, va subito dispersa per la punta; e si distribuisce su la superficie dell'ebanite.

Per vedere come la distribuzione avvenga, si fa uso di un artifizio, che serve in molti altri casi. E cioè si proietta sul disco, con un soffietto, un miscuglio di polveri di zolfo e minio.

Il soffietto è chiuso, a l'orifizio, con uno strato di garza, a maglie molto fitte, così che le due polveri, nell'uscire si debbono strofinare vivamente una contro l'altra. E per tal modo si elettrizzano. Lo zolfo diviene negativo e il minio, in vece, positivo.

Quindi se a la superficie dei corpi, su i quali il miscuglio va a cadere, esistono delle cariche, queste attrarranno di preferenza una delle due sostanze, e però le regioni corrispondenti appariranno tinte di un colore, che dipende dal segno dell'elettrizzazione.

Saranno gialli i tratti positivi e rossi, in vece, i negativi.

Ma anche se vi fossero solo, quà e là, dei punti positivi, e il rimanente del corpo, che si studia, fosse scarico, le regioni elettrizzate apparirebbero pur sempre tinte del loro colore caratteristico, assumendo l'altro colore i tratti neutri.

Nel caso nostro, se proietto il miscuglio nel modo che ho indicato, si ottiene una bellissima figura a stella, costituita da molti tratti a zig-zag, che diramano tutti da quel punto, sul quale si appoggia l'ago di acciaio. Questa figura spicca in giallo sul fondo rosso.

In realtà, avendo caricato la bottiglia di Leida con la

macchina del Ramsden, l'armatura interna doveva essere elettrizzata positivamente, e però doveva essere anche positiva l'elettricità, che è sfuggita da la punta. Acquistiamo così un'idea del modo come si muove, su la superficie dell'ebanite, una carica col segno +, la quale si irradii, a partire da un centro.

Se in vece di un disco di ebanite avessi impiegato un'altra sostanza dielettrica qualunque, la forma della figura non avrebbe cambiato per nulla; sì bene la grandezza. Sopra una lastra di vetro, per esempio, si ottengono delle stelle assai più piccine.

Vogliamo adesso ripetere l'esperienza, conservando in tutto le disposizioni di prima, ma sostituendo solamente a l'elettricità positiva la negativa.

A tal'uopo io carico la bottiglia di Leida tenendola per il bottone, in vece che per l'armatura esterna, ed accostando quest'ultima al conduttore della macchina.

Come la carica è avvenuta, io depongo il condensatore sopra un sostegno isolante, lo abbandono, e poi lo riprendo; afferrandolo questa volta per l'armatura esterna.

E adesso sono pronto per fare la nuova esperienza. Solamente voglio ancora scambiare il disco di ebanite, con un altro simile in tutto, ed affatto scarico.

Produco, come prima, l'efflusso per la punta e proietto il miscuglio.

Come vedono, le cose mutano assai di apparenza, e in luogo di una stella, si ottiene ora una figura tondeggiante; nella quale predomina il colore rosso, caratteristico dell'elettricità negativa. Questa figura è assai meno grande e meno chiara, e per tutti i rispetti meno bella, dell'altra, che avevamo ottenuto dianzi.

Sembra che si possa dedurre di quì che il movimento dell'elettricità negativa, a la superficie dei dielettrici si fa con leggi differenti da quelle, che regolano il moto delle cariche positive.

Queste figure, che abbiamo ottenuto, sono note con il nome di figure del Lichtenberg.

Mi sembra che non sia il caso di insistere troppo su l'argomento; piuttosto passiamo a lo studio, ben altrimenti interessante, dei fenomeni di conduzione.

§ 2. — Sanno già che il fatto della conduzione si verifica ogni volta che un corpo conduttore riunisce due sistemi a potenziale differente.

Una delle quistioni più fondamentali, che si possano fare in proposito, è quella della distribuzione del livello elettrico lungo il corpo, percorso da l'elettricità.

Cercheremo di risolvere sperimentalmente il problema. Sopra due sostegni isolanti ho disposto (fig. 10) un bastone

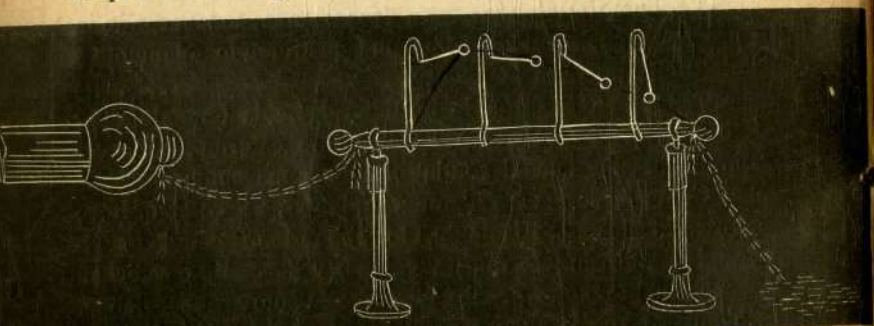



Fig. 10.

di legno di castagno, il quale conduce mediocremente, ma pure conduce l'elettricità.

Uno degli estremi di questo bastone lo collego, con una catenella, al conduttore della macchina del Ramsden; e l'altro estremo, anche con una catenella, lo metterò a suo tempo in comunicazione con il suolo.

Per avere poi un'idea del modo come si distribuisce il potenziale, ho fissato, lungo il conduttore, quattro elettroscopii. Sono semplici aste di ottone, ricurve, che reggono altrettante palline di midollo di sambuco, sospese con fili di cotone.

Mettiamo in movimento il disco della macchina. Si produce dell'elettricità, la quale invade anche il bastone.

I quattro elettroscopii si comportano tutti ad un modo. E questo va d'accordo con quello che già sappiamo. Vi deve essere in fatti dovunque, sul nostro sistema, uno stesso livello elettrico.

E bene, stabiliamo il contatto con la terra. Le cose, subito, cambiano assai.

Come vedono i quattro elettroscopii danno ora delle indicazioni differenti. Quello più vicino a la macchina diverge molto; ma negli altri la divergenza è via via minore, fino a l'ultimo, che è a pena spostato da la sua posizione di riposo.

Dobbiamo dunque concludere che il potenziale, lungo un conduttore percorso da l'elettricità, va decrescendo in modo continuo.

Se facessimo delle misure un po' esatte troveremmo che, nel caso nostro, la caduta avviene uniformemente. Mi spiego. Suppongano di alzare nei punti del conduttore (del bastone) dei segmenti rettilinei, tutti paralleli fra loro, e proporzionali a i potenziali, che esistono in quei punti. Le estremità di questi segmenti si verrebbero a trovare sopra una medesima linea retta.

L'esperienza dimostra ancora che, per un determinato conduttore, vi è un rapporto costante fra la differenza di potenziale, che esiste a i suoi estremi, e la quantità di elettricità, che passa lungo esso, in un intervallo di tempo determinato. E' un resultato questo, che va sotto il nome di Legge dell'Ohm.

Quel rapporto, caratteristico per ciascun conduttore, si suol chiamare la *resistenza* del conduttore stesso. Per definire la resistenza si sceglie come intervallo l'unità di tempo (secondo).

§ 3. — Ho avuto già occasione di assimilare una bottiglia di Leida carica ad un corpo elastico soggetto a deformazioni. Ma dei condensatori e, in generale, dei corpi elettrizzati si possono dare altre rappresentazioni.

Per esempio è assai comunemente usato quello, che

potrebbe chiamarsi il *modello idrodinamico* dei fenomeni elettrostatici.

In questo ordine di idee si confrontano i corpi elettrizzati con vasi cilindrici, nei quali si versa dell'acqua.

Allora la quantità del liquido corrisponde a la carica, la sezione del recipiente a la capacità, e l' altezza della colonna sul fondo al potenziale.

Vi sono manifestamente fra le tre grandezze, che si hanno a considerare nel modello, le stesse relazioni, che corrono fra le grandezze elettriche.

Anzi, in realtà, i *termini* di capacità e di livello elettrico (potenziale) trovano in questa analogia la loro giustificazione. Non è necessario che io faccia osservare che le *nozioni*, in vece, corrispondono a qualche cosa di reale, che sussiste indipendentemente dal modello.

Se due vasi si fanno comunicare, e in essi il liquido arriva ad altezze differenti, si produce un movimento dell'acqua, che ha per resultato di uguagliare i livelli. A lo stesso modo si muove l'elettricità quando si collegano due conduttori a potenziale diverso.

E' estremamente interessante di constatare che la legge del fenomeno è la stessa nell'uno e nell'altro caso. Ce ne possiamo persuadere facendo uso della disposizione, che vedono quì.

E' una bottiglia (fig. 11), la quale è munita, in basso, di rubinetto. A questo con un tubo di gomma, ho congiunto una lunga canna di vetro (orizzontale).

La canna è lavorata per modo che, di tratto in tratto, ad intervalli regolari, si alzano da essa quattro tubicini, che possono servire da manometri, vale a dire da indicatori della pressione.

Per ora io tengo aperto il rubinetto, così che la bottiglia comunichi liberamente con la canna ; ma chiudo quest'ultima, a l'altro estremo, stringendo con un morsetto un pezzo di tubo di gomma, che le è adattato.

Verso nella bottiglia dell'acqua, tinta in rosso.

Accade, secondo la legge ben nota dei vasi comunicanti, che il liquido entra per il rubinetto nella canna, e la occupa tutta, e sale nei tubi manometrici, raggiungendo in ciascuno di essi il medesimo livello.

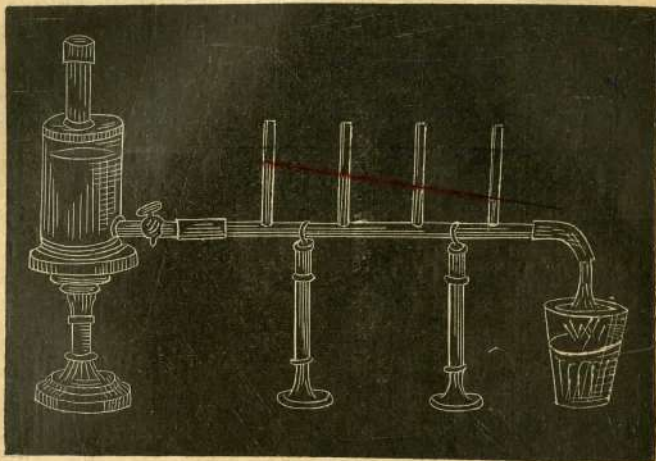



Fig. 11.

Fin quì dunque ogni cosa va per l'a punto come nel fenomeno elettrico, che si studiava dianzi.

Ma l'analogia continua pur sempre se, aprendo l'estremo libero della canna, lascio che il liquido effluisca da esso.

Nel manometro, che è più vicino a l'orifizio, l'acqua si abbassa di molto; negli altri, fino a l'ultimo, la caduta è via via minore. E le estremità delle colonne liquide, come posso verificare, avvicinando un regolo, stanno sopra una medesima retta.

Vuol dire che il modello idrodinamico non serve solamente per i fatti elettrici di natura statica, ma, invece, ha sempre valore, anche quando lo si confronta con taluni fenomeni di movimento.

Non è inutile osservare che, se si parla nel linguaggio

comune di *correnti* elettriche, e si considera la cosa come una vera traslazione di una sostanza particolare (l'elettricità), non si hanno per tutto ciò delle ragioni migliori che questa analogia.

In realtà noi non sappiamo nemmeno se in un conduttore *percorso da corrente* vi sia da vero qualche cosa, che si muove.

Una circostanza soltanto potrebbe far supporre che un tale modo di concepire i fatti abbia un fondamento oggettivo. Ed è questa che la resistenza, quella costante, della quale ho parlato, è, per un conduttore di sezione uniforme, proporzionale direttamente a la lunghezza, e inversamente a punto a la sezione.

Quindi è naturale, benchè non sia necessario, di pensare che qualche cosa passi dentro il conduttore; almeno nel caso, che ci occupa in questo momento.

§ 4. — Ho detto già che, oltre a certi corpi solidi anche altre sostanze presentano il fenomeno della conduzione.

Fermiamoci, per un istante, a considerare ciò, che accade quando l'elettricità passa a traverso ad un liquido conduttore.

Quì le cose sono assai più complesse che non siano nel caso dei metalli; in realtà si presentano alcuni fatti nuovi. I fatti, cioè, dell'*elettrolisi*.

È una nozione questa, che molti di Loro, senza dubbio hanno già. Riassumo quindi rapidamente di che si tratta, spiegandomi, per maggiore chiarezza, con un esempio.

Io ho raccolto in questa piccola vaschetta di vetro, a faccie piane e parallele, un po' di acqua, acidulata con acido solforico. E nella vaschetta ho immerso ancora due fili di platino sottili. Questi fili sono saldati in capo a certi tubetti di vetro, per modo che una piccola porzione di essi rimane a l'aperto, e il resto penetra nell' interno dei tubi. Nei tubi stessi poi, per l'altro estremo introduco ancora due *reofori* (*), comunicanti con i poli di una mac-

(*) Fili conduttori.

china del Holtz. Il contatto fra i fili di platino e quelli, più grossi, di rame è assicurato con qualche goccia di mercurio. Io proietto questo piccolo apparecchio con la solita lanterna; e ottengo un'imagine (capovolta) su lo schermo.

Si vedono distintamente, quì in alto, le estremità dei conduttori di platino.

E bene, giriamo ora il disco della macchina e mettiamola in azione. Quelli di Loro, che sono più prossimi a lo schermo, vedranno già ora formarsi su i fili certe escrescenze tondeggianti, che si vanno lentamente ingrossando, finchè si staccano e sembrano cadere in basso.

Sono queste minute bollicine gassose, che si svolgono a punto a la superficie dei conduttori (*elettrodi*), i quali portano nel liquido l'elettricità.

Lo sviluppo dei gassi è diverso su i due fili; vi sono molte più bolle da la parte, dove entra l'elettricità negativa (da la parte del *catodo*, come si suol dire), che non a quell'altro conduttore (l'*anodo*), per il quale arriva l'elettricità positiva.

Le due sostanze gassose sono di natura differente, la prima è dell'idrogeno, la seconda è ossigeno. Come è noto, sono questi i componenti dell'acqua; e la proporzione nella quale lo sviluppo avviene è precisamente quella, secondo che i due corpi entrano a formare l'acqua.

Possiamo dunque dire che, per il passaggio dell'elettricità, il liquido conduttore riesce in parte deocmposto.

Per intendere come questo avvenga si può imaginare che gli atomi dell'idrogeno e dell'ossigeno rechino con sè delle cariche elettriche. Che per i primi sarebbero positive e per i secondi negative.

In seno al liquido, per gli urti, che accadono continuamente fra le molecole, alcune di queste si spezzerebbero nei loro componenti, gli *ioni*. I quali sentirebbero allora l'azione delle forze elettriche, e si muoverebbero per sensi opposti, a seconda del segno delle loro cariche.

In questo modo avviene il trasporto dell'elettricità a

traverso i conduttori liquidi (*elettroliti*). Perchè, quello, che ho detto dell'acqua, si può ripetere anche per gli acidi, e le basi, e le soluzioni saline. Come si intende il processo è alquanto diverso da l'altro, che si verifica, in vece, nei metalli; sicchè possiamo distinguere quelle correnti di *conduzione*, da queste, che constatiamo ora, e che si potrebbero chiamare di *convezione*. Per vero, nel caso attuale, le cariche sono portate sempre da i loro sostegni materiali, che si muovono con esse.

Vi sono delle buone ragioni per ritenere che gli atomi monovalenti rechino tutti una medesima quantità di elettricità, qualunque sia la sostanza a la quale appartengono. In vece gli atomi bivalenti porterebbero una quantità doppia, i trivalenti tripla, e così di seguito.

Anzi si è riusciti a determinare, almeno per approssimazione, la grandezza assoluta di queste cariche. Con le unità, che ho definito nella prima lezione, la carica dell'atomo, monovalente ha, a l'in circa, per valore:

$$3 \cdot 10^{11}.$$

Vedremo, più avanti, come i resultati, che espongo, abbiano un'importanza grande nelle teorie dell'ottica. A le cariche, delle quali il fatto dell'elettrolisi dimostra in qualche modo l'esistenza, si può in fatti assegnare una parte nei fenomeni dell'emissione della luce (*).

§ 5. — Come passa a traverso a certi solidi e liquidi, l'elettricità può anche percorrere le sostanze gassose. Queste anzi si comportano tutte ad un modo, sicchè non vi è differenza sensibile tra i fenomeni presentati, per esempio, da l'aria atmosferica, o da l'idrogeno, o da l'anidride carbonica. In ogni caso però si ottiene una serie svariatissima di fatti. Vediamone rapidamente alcuni.

Io ho disposto quì un apparecchio, che ha, nelle linee generali, una certa analogia con quello che ci servì,

(*) Si confronti la lezione quindicesima.

in principio della lezione, per ottenere le figure del Lichtenberg.

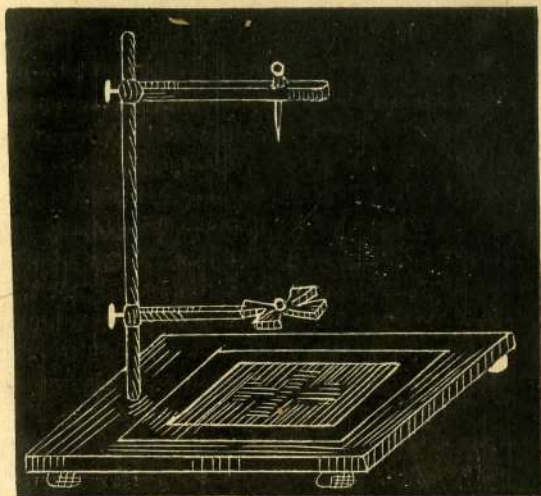



Fig. 12.
ombre elettriche del Righi

Vi è anzi tutto (fig. 12) un conduttore, munito di punta acuminata, e sorretto da un sostegno isolante; poi una tavoletta di ebanite, che riposa sopra una lastra di latta. La quale ho messo in comunicazione con il suolo.

Però la punta sta ora ad una distanza di forse venti centimetri dal piano dielettrico. Fra quella e questo è interposto uno schermo, tagliato fuori da una lamina di ottone, al quale ho dato la forma di croce.

Io carico una bottiglia di Leida, con la macchina del Ramsden, nel modo ordinario. E poi, tenendola in mano, per l'armatura esterna, ne accosto il bottone a la pallina, che termina il conduttore acuminato.

Come dianzi, per avere una buona terra, ho messo la stagnola della bottiglia in comunicazione con il suolo, con una catenella metallica.

Avviene fra l'armatura interna e il conduttore a punta

una piccola scarica, e si sente anche un fischio debolissimo, che accompagna sempre la dispersione dell' elettricità.

E bene, proiettiamo ora su la tavoletta di ebanite il solito miscuglio di zolfo e minio. Vedremo che si forma un'imagine della croce, rossa sul campo giallo.

L'imagine è alquanto più grande dell'oggetto e corrisponde a l'ombra, che questo porterebbe sul piano dielettrico, quando vi fosse nella punta una sorgente luminosa. Per questa ragione le figure, delle quali discorro, furono dette *ombre elettriche* dal Righi, che le scoprì (5).

Quanto al meccanismo del fenomeno, sembra che lo si possa intendere ammettendo che le particelle dell'aria, attratte a la punta, dove la densità dell' elettrizzazione è grandissima, ne vengano poi respinte, e rechino con sè una parte della carica. Sarebbero lanciate, per questo modo, secondo certe curve, che si scostano poco da la linea retta.

§ 5. — Oltre a questo, che abbiamo constatato, vi è tutta un'altra serie di fenomeni, a i quali anche dà luogo il passaggio dell'elettricità a traverso a i gassi. E sono specialmente interessanti perchè si collegano con apparenze luminose.

Uno di tali fenomeni è la scintilla, che si produce nell'aria e nelle altre sostanze aeriformi, a la pressione solita dell'atmosfera.

Ma la varietà e lo splendore delle apparenze luminose sono di gran lunga maggiori, quando le scariche si provochino dentro recipienti chiusi, che contengano un gasse rarefatto.

Richiamo, in breve, i principali resultati, che si possono constatare in queste condizioni. Lo faccio tanto più volentieri perchè ci dovremo spesso servire, in seguito, dei fenomeni, a i quali alludo, come mezzo di dimostrazione.

Io prendo anzi tutto un tubo di vetro (fig. 13), con due

bolle a le estremità, e un tratto capillare nel mezzo, nel quale penetrano, e sono saldati a la fiamma, due elettrodi di platino.

In questo tubo, che è chiuso ermeticamente, si trova del vapor d'acqua, ad una pressione venticinque o trenta volte minore di quella ordinaria dell'atmosfera (*).

Collego gli elettrodi con i conduttori di una macchina del Holtz, e faccio agire quest'ultima. Il tubo si illumina di una pallida luce rossastra, la quale diventa molto più vivace se lascio nei fili esterni una piccola interruzione, per modo da introdurre una scintilla nel circuito.

Fig. 13.

Ora si possono anche rilevare talune particolarità del fenomeno; propriamente si vede che le apparenze a i due elettrodi sono alquanto diverse. Da una parte il filo è circondato da un manicotto di luce violacea, da l'altra è a pena luminoso, ma reca, su la punta, una stelletta assai vivace.

Se prendessi, in luogo del vapor d'acqua, un'altra sostanza (gassosa) qualunque, il carattere del fenomeno non cambierebbe. Muterebbero bensì i colori delle luci.

In vece si possono constatare dei fatti via via differenti quando, in un medesimo gasse, si fa variare la pressione.

Da principio sembra che la scarica, per tal modo, venga agevolata; poi la resistenza passa per un minimo e comincia a crescere di nuovo.

Il carattere dei fenomeni muta radicalmente allora che si raggiunge una pressione dell'ordine del milionesimo di atmosfera.

(*) Gli apparecchi di questo genere si chiamano comunemente *tubi del Geissler*, dal nome dell'artefice, che li costruì per il primo.

In tale caso pare che la scarica non vada più, come prima, da un elettrodo a l'altro, ma anzi dal catodo si sviluppano certi pennacchi luminosi, la direzione dei quali non dipende per nulla da la posizione dell'anodo. Codeste apparenze sono note sotto il nome di *raggi catodici*.

Noi le possiamo riscontrare con il pallone a quattro elettrodi, che vedono quì (fig. 14). In esso penetrano quattro fili, dei quali uno porta un dischetto, e gli altri finiscono in punta.

Fig. 14.

A quel primo voglio congiungere il conduttore negativo, che viene da la macchina; ad uno dei rimanenti il conduttore positivo. Anche lascio una scintilla nel circuito.

Quando si gira il disco appare nel pallone un fascio luminoso, di color grigio lavanda, che si stacca dal catodo normalmente a la sua superficie, e va a battere su la parete opposta. E vi produce una bella macchia verde di *fluorescenza*.

Non accade nessun cambiamento sensibile se prendo come anodo un altro degli elettrodi rettilinei.

I raggi catodici godono di molte proprietà interessanti, le quali furono studiate, la prima volta, dal Crookes (*). Anzi tutto quella di eccitare la fluorescenza, di cui ci dovremo anche servire, e che ricordai or ora.

Questa proprietà non si riscontra soltanto per l'azione dei raggi catodici sul vetro, ma bensì ogni volta che sul cammino dei raggi stessi si interpone un ostacolo materiale.

(*) Per questo i tubi, nei quali si producono i raggi catodici, si chiamano anche *tubi del Crookes*.

Così, per esempio, nei due tubi che presento Loro (fig. 15 e 16), si può ottenere una bellissima luminosità,

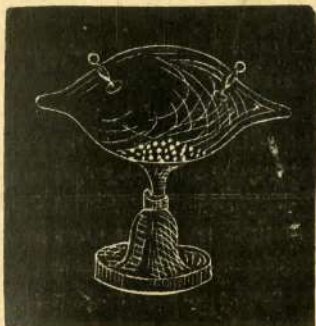



Fig. 15.

Fig. 16.

che è verde erba in un caso e rosata nell'altro. Vi è del silicato di zinco nel primo e un pezzetto di marmo nel secondo apparecchio.

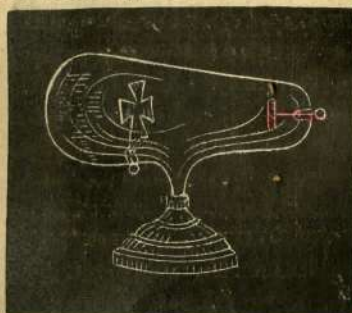



Fig. 17.

Del fenomeno della fluorescenza ci si può servire per dimostrare che i raggi catodici procedono in linea retta. Con che si giustifica a punto il termine di raggi.

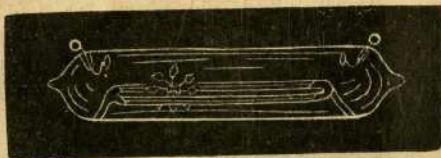
In un tubo periforme (figura 17) si introducono due elettrodi, che uno ha la forma di disco, l'altro è una croce di lamina di alluminio. La croce è munita, in basso, di cerniera, per

modo che la si può ripiegare, o pure, in vece, tenere rialzata.

Per l'a punto la voglio alzare, e voglio congiungere gli elettrodi con i poli della macchina, così da avere il catodo sul dischetto. Quando si producono le scariche, si vede disegnarsi, a la base del tubo, un'ombra della croce, nera sul verde della fluorescenza.

Questa proprietà dei raggi catodici, di procedere in linea retta, permette di concentrarli in un punto, per rinforzarne le azioni. Basta, a l'uopo, impiegare come catodo (fig. 18) una calotta sferica, di un metallo qualunque, di alluminio per esempio. Per tal modo i raggi si vengono a riunire nel centro della sfera, a la quale la calotta appartiene.

Fig. 19.

Fig. 18.

E se in codesto *foco* si colloca una laminetta metallica, si trova che essa si riscalda al punto da doventare rovente.

I raggi catodici sono ancora capaci di esercitare delle azioni meccaniche; esercitano in fatti una pressione su gli ostacoli, che si interpongono sul loro cammino.

La cosa si verifica con questo tubo di forma allungata (fig. 19), nel quale, su due rotaie, può girare una rota leggerissima, fornita di palette di mica. Eccitando in tale apparecchio dei raggi catodici, in direzione longitudinale, si vede che la rota entra in movimento e si sposta. Il senso della traslazione si inverte con quello della scarica.

Intendere come avvengano tutti i fenomeni, che nascono dal passaggio dell'elettricità a traverso a i gassi rarefatti, è estremamente difficile.

Dirò soltanto che, in alcuni casi almeno, può rendere ottimi servizii un'ipotesi analoga a quella, che abbiamo introdotto per raccogliere insieme i fatti dell'elettrolisi.

Le proprietà dei raggi catodici, in particolare, si comprendono bene se si ammette che essi risultino da getti di particelle elettrizzate.

* * *

§ 6. — Le cose principali, che ho esposto in questa lezione, si riducono in sostanza a la constatazione della analogia fra i moti dell'elettricità nei conduttori e quelli dell'acqua nei tubi; e poi a l'esame dei fenomeni, che nascono dal passaggio delle cariche a traverso a i liquidi e a i gassi. Abbiamo veduto come da tali fatti risulti probabile l'esistenza di una certa quantità di elettricità su gli atomi della materia. Se anche questo non è oggettivamente vero, almeno molti fenomeni avvengono, *come se* le cose fossero ordinate a punto così.

3a Analogia

LEZIONE QUARTA.

Magnetismo — Campo magnetico della corrente — Azioni ponderomotrici ed induttive fra circuiti elettrici.

§ 1. — Nelle passate lezioni ho riassunto rapidamente le cose principali relative a i fenomeni dell'elettrostatica e dell'elettrodinamica, fermandomi solo, di tratto in tratto, per insistere sopra alcuni fatti o sopra alcuni concetti, dei quali ci dovremo servire spesse volte durante questo corso.

Voglio fare oggi altrettanto rispetto a i fenomeni, che nascono da l'azione di due correnti una su l'altra.

Così avremo condotto a termine la parte introduttiva. I fatti, a i quali alludo, hanno un' importanza pratica immensa, ma presentano anche un grande interesse logico perchè, come vedremo, per la massima parte, non si possono più riprodurre con il modello idrodinamico.

§ 2. — Suppongo sia nota a tutti Loro l'esistenza del *magnete naturale.* E' un tetrossido di ferro, i cui cristalli, particolarmente in certe regioni della superficie, godono della proprietà di attrarre a punto la limatura di ferro.

Se si struscia una sbarra d'acciaio sopra uno di questi centri di attrazione, spostandola sempre in un medesimo senso, da un estremo a l'altro, la sbarra si *magnetizza,* vale a dire acquista alcune delle proprietà del magnete naturale.

Più precisamente si trova che i tratti vicini a gli estremi sono doventati capaci di attirare la limatura di ferro; la parte centrale, a l'in contro, non esercita nessuna azione sensibile. Quindi si parla, nel linguaggio comune, di *poli magnetici* e di *linea neutra*.

Una sbarra così ottenuta può sostituire in ogni caso il magnete naturale; in particolare è capace di trasferire in altre aste simili le sue proprietà.

Quando la si sospenda orizzontalmente, per modo che possa girare intorno ad una retta verticale, una sbarra magnetizzata si *orienta*, vale a dire assume una direzione, che si conserva la stessa, in un dato luogo della terra, entro limiti di tempo non molto grandi.

Questa direzione non è mai lontana da quella, che segna sul piano orizzontale la traccia del meridiano. Quindi si dà il nome di polo *nord* a quel polo di un magnete, che si volge prossimamente verso il settentrione, mentre l'altro si chiama polo *sud*.

E' anche ben nota la legge delle attrazioni e repulsioni magnetiche, secondo la quale i poli omonimi si respingono e gli eteronomi si attraggono.

Avviene quì qualche cosa di simile a quello, che accade per le due elettricità di opposto segno.

Realmente lo studio del magnetismo ha molte analogie con quello dell'elettrostatica. Ma ha solo delle analogie. Perchè certe proprietà caratteristiche distinguono senz'altro i due agenti.

Così, per esempio, mentre è possibile ottenere, con lo strofinio, dell'elettricità positiva o negativa *isolata* sopra un dato corpo, non si può mai creare un polo nord in una sbarra di acciaio, senza che, per ciò solo, non si produca anche un polo sud.

E se si spezza un magnete artificiale, così da isolare i due estremi, si ottengono da una parte e da l'altra della frattura, dei poli; per modo che i frammenti tornano ad essere, a la loro volta, magneti perfetti.

Non è necessario, perchè un pezzo d'acciaio si magnetizzi, di strusciarlo secondo che ho detto avanti; ma basta tenerlo nell'intorno o, come si dice, nel *campo* di una calamita artificiale o naturale

Ancora quì si ottengono dunque dei fenomeni di induzione, vale a dire si esercitano, in apparenza, delle azioni *a distanza*.

Oltre a l' acciaio anche il ferro gode della proprietà di magnetizzarsi in un campo magnetico. Ma la sua magnetizzazione è temporanea, vale a dire cessa, quasi completamente, con la causa, che la produsse.

Per intendere questi fenomeni si può imaginare una teoria simile a quella del Mossotti, che ebbi occasione di esporre in una delle passate lezioni.

Si supporrà dunque che in tutti i corpi (compresa l'aria atmosferica e il vuoto) esistano dei cilindretti elementari, i quali si orientano in presenza dei magneti e, per tal modo, ne trasmettono l'azione

Volendo spiegare come esistano le calamite permanenti, bisognerà ammettere che gli aghi elementari siano essi stessi sempre magnetizzati.

E la differenza fra il modo di comportarsi dell'acciaio e quello del ferro la potremo attribuire ad una specie di vischiosità, che, nel primo caso, mantiene gli aghetti in una data posizione, quando una volta l'abbiano assunta.

Come autore della teoria, che riassumo, si suole indicare il Poisson (6).

§ 3. — Per le azioni mutue dei poli magnetici vale una legge analoga a quella, che regola le attrazioni e le repulsioni delle cariche elettriche.

Quindi l'unità di magnetismo si definisce in modo simile a quello, che si segue per definire l'unità di quantità.

E si chiama *forza magnetica* la forza, che, in un determinato punto dello spazio, solleciterebbe l'unità di magnetismo nord.

Quandó due poli di nome opposto stanno in presenza

uno dell'altro, la forza, su la loro congiungente, è diretta secondo la congiungente stessa dal nord al sud.

§ 4. — Vi sono, come è ben noto, delle relazioni molto strette fra i fenomeni dell'elettricità e quelli del magnetismo. E si possono mettere in luce con un'esperienza assai semplice.

Ho avvolto ad elica, intorno ad un tubo di vetro (fig. 20), un grosso filo di rame, che munisco di palline a le estremità. La spirale è allungata per modo che le spire adiacenti non si tocchino, ma anzi rimangano ad una certa distanza.

Fig. 20.

Prendo poi un'asta di acciaio e, tuffandone gli estremi in un mucchietto di limatura di ferro, o, meglio, accostandoli ad un magnete sospeso, mi accerto che non presentano traccia di magnetizzazione. Quindi l'asta la introduco dentro il tubo di vetro.

E poi, con una catenella, metto a terra una delle palline, che terminano la spirale. L'altra riesce a pochi millimetri dal bottone di una grande giara di Leida, la cui armatura esterna comunica anch'essa con il suolo.

Per mezzo della solita macchina del Ramsden, carico il condensatore, seguitando a girare il disco fino a che non si produca una scintilla fra i due conduttori affacciati.

E' evidente che, quando questo avviene, una certa quantità di elettricità passa per la spirale e si disperde nel suolo.

Ripetiamo la cosa due o tre volte. E poi ritiriamo la sbarra dal tubo; e di nuovo avviciniamone gli estremi a quelli di un magnete sospeso.

Subito si vede che le condizioni sono alquanto cambiate; e cioè delle estremità della sbarra una attira il polo nord dell'ago sospeso, e l'altra lo respinge.

In poche parole, per l'azione della scarica, l'acciaio si è magnetizzato.

Cerchiamo di precisare come sia avvenuto il fenomeno.

Ecco: se a i due capi del tubo avessimo disposto due poli di nome contrario, vale a dire se vi fosse stata da per tutto nel vano del cilindro una forza magnetica diretta secondo l'asse, l'effetto finale sarebbe il medesimo.

Si può dunque dire che una spirale, percorsa da l'elettricità, esercita le stesse azioni magnetiche, come se generasse nel suo interno una forza magnetica, diretta secondo le generatrici del cilindro, sul quale è avvolta.

E poi che siamo ridotti sempre a giudicare delle cause da gli effetti, è lecito affermare senz'altro che l'elica, nelle condizioni, che s'è detto, dà luogo a la produzione di un campo magnetico.

Ma si può tirare anche un'altra conseguenza. Secondo le nostre vedute in fatti il campo si produce perchè il mezzo si polarizza in un certo modo; e questo non avverrà senza un consumo corrispondente di energia.

Nel caso attuale l'energia si ottiene a punto facendo cessare la polarizzazione del dielettrico nel condensatore.

Io mi sono servito, per fare l'esperienza, dell'elettricità positiva; potrei ripeterla ora impiegando delle cariche negative.

Il resultato non sarebbe differente, ma solo si otterrebbe un polo nord a quell'estremo dell'elica, dove prima si produceva il polo sud e viceversa. E se si pensa che il partire dell'elettricità negativa dal condensatore è, in fondo, un arrivare di elettricità positiva dal suolo, si vede subito che i due fatti debbono potersi raccogliere in un medesimo enunciato.

Un'altra modificazione si può portare a l'esperienza, e consiste nell'avvolgere l'elica, sul tubo di vetro, da sinistra a destra, in vece che da destra a sinistra, come avevo fatto ora.

Anche così le scariche danno luogo a polarità magnetiche ben determinate, le quali pure si scambiano con il segno dell'elettricità, che si pone in movimento.

Sono dunque, in complesso, quattro esperienze distinte, che due a due si equivalgono. E bene, si trova che è possibile enunciare i resultati di tutte con una formola sola.

La quale formola suona così: Se ci si pone a quell'estremo del tubo di vetro, dove si formerà il polo sud della sbarra magnetizzata, e si guarda la spirale, il verso, nel quale si vedrebbe avvenire il movimento dell'elettricità positiva, ove questa fosse visibile, è quello stesso, nel quale girano sul quadrante gli indici di un orologio.

§ 5. — Abbiamo veduto, quando si parlava della teoria del Mossotti, che, nell'intorno di un corpo elettrizzato, un aghetto conduttore, libero di muoversi, si disponeva secondo la direzione della forza. Si comprende bene che qualche cosa di simile deve avvenire per un ago magnetizzabile o magnetizzato in un campo magnetico.

Sicchè, senza più fare esperienze, noi possiamo concludere con sicurezza che se, dentro un'elica di filo conduttore, si sospende una piccola calamita, così che sia libera di orientarsi come le piace, essa dovrà disporsi secondo l'asse del cilindro, sul quale l'elica è avvolta, a pena in quest'ultima passi una corrente elettrica.

Anzi si capisce che noi abbiamo in tale disposizione un mezzo per renderci conto dell'esistenza o meno di una corrente in un dato conduttore. Anche potremo decidere in che senso avvenga il movimento dell'elettricità positiva.

A punto su questo principio sono fondati gli apparecchi notissimi, che si chiamano *galvanometri*.

In pratica gli aghi magnetici non sono mai del tutto liberi nei loro movimenti, sia perchè devono obbedire a la forza del campo terrestre (*), sia perchè la torsione del filo, al quale si sospendono, tende sempre ad opporsi ad ogni causa, che porti il mobile fuori della posizione di riposo.

(*) L'esistenza del quale si deduce a punto dal fatto che gli aghi sospesi si orientano.

Quindi non è possibile che la piccola calamita si disponga esattamente secondo la forza, che è prodotta da un'elica, percorsa da l'elettricità. Assumerà bensì una direzione che si scosta tanto meno da quella dell'asse, quanto più energico è lo sforzo, che la corrente esercita, in confronto degli altri, a i quali il sistema è anche soggetto.

Ciò significa che il galvanometro fornisce un criterio per giudicare non solo dell'esistenza e della direzione delle correnti, ma ancora della grandezza delle forze magnetiche, a cui danno origine.

§ 6. — Fino a questo momento, volendo produrre un flusso di elettricità noi ci siamo serviti dello spediente di scaricare a traverso al conduttore un corpo elettrizzato (macchina o bottiglia di Leida). Ma vi sono altri mezzi, molto più pratici, benchè teoricamente meno semplici, per ottenere il medesimo resultato. Vale a dire vi sono degli altri *elettromotori*.

PILE

Ricordo fra questi le *pile*, delle quali esistono moltissime categorie, che si trovano descritte in qualunque trattato.

Di alcuni di tali apparecchi faremo uso continuamente in seguito e cioè:

1.° della pila del Bunsen, in cui si utilizza la differenza di potenziale, che si produce al contatto di due corpi eterogenei; e si consuma dell'energia di origine chimica;

2.° della pila secca dello Zamboni, fondata sopra un principio analogo;

3.° della pila termoelettrica del Nobili, dove la corrente è ottenuta scaldando una saldatura, che riunisce due metalli differenti;

4.° finalmente, degli accumulatori, o pile secondarie, nei quali la forza elettromotrice proviene da un fenomeno, che sussegue a l'elettrolisi.

Se si confrontano le correnti, date da questi appa-

recchi, con le correnti di scarica, impiegate finora da noi, si trovano delle differenze notevoli.

Propriamente il confronto si può fare in due modi distinti.

E cioè si possono paragonare fra loro le differenze di potenziale, che si ottengono nei due casi a i capi del conduttore, nel quale si produce la corrente; o pure, in vece, le quantità di elettricità, che risultano spostate.

Il primo confronto si farà per mezzo dell'elettroscopio e il secondo, per esempio, determinando l'elettrolisi dell'acqua, acidulata con l'acido solforico.

Si ottengono, come è facile prevedere, dei resultati, che variano di molto con le condizioni delle esperienze; ma pure si può concludere questo di generale, che cioè, nelle correnti di scarica, vi è sempre una differenza di potenziale assai maggiore e uno spostamento di elettricità assai minore che non si ottengano, in vece, da le pile.

Di più le correnti, che si producono scaricando una bottiglia di Leida, non durano che un tempo brevissimo, mentre le altre possono conservarsi, dentro un intervallo assai largo, ad intensità costante.

Sono, come si vede, delle differenze ben nette, ma, ad ogni modo, solamente quantitative.

§ 7. — D'ora in avanti, volendo studiare le azioni mutue, che si esercitano fra due conduttori percorsi da l'elettricità, noi ci serviremo sempre delle correnti date da le pile, perchè souo più facili da maneggiare.

I fenomeni, cui alludo, si possono dividere in due classi, secondo che le forze, delle quali si constata l'esistenza, agiscono su i conduttori medesimi, o alterano, in vece, il movimento dell'elettricità.

Nel primo caso si hanno le cosidette *azioni ponderomotrici*, nel secondo caso i fenomeni di *induzione elettro dinamica*.

Dei fatti della prima categoria non abbiamo ad occuparci ex professo, perchè essi non hanno importanza essenziale per il nostro corso.

Ricordo soltanto che si può dimostrare come due correnti parallele, dirette nel medesimo senso, si attirino e due correnti dirette in senso opposto si respingano.

Anzi farò in proposito un'osservazione, la quale non credo sia superflua.

Nei trattati si parla comunemente di azioni ponderomotrici, che s'esercitano fra due conduttori distinti. In realtà non è necessario, perchè effetto vi sia, che le due correnti rimangano del tutto indipendenti. Ma anzi due tratti del medesimo filo, quando si ripieghino per modo da renderli paralleli, tendono, a seconda dei casi, ad attrarsi o pure a respingersi.

Mi fermo un momento sopra questo punto, perchè, come vedremo, un fatto simile a quello, del quale mi occupo ora, si presenta anche nel caso delle azioni induttive. E ciò ha per noi un grandissimo interesse.

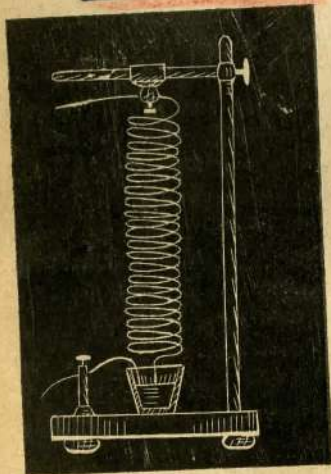



Fig. 21.

Non è difficile verificare l'esistenza di forze, agenti fra tratti del medesimo filo.

Mostrerò, come esempio, un esperimento, che vale a porre in luce l'attrazione, che si esercita fra due porzioni, di un circuito, parallele e nello stesso senso.

Una grossa spirale di filo di rame (fig. 21) è sospesa ad un suo estremo; mentre l'altro estremo rimane libero e viene ad immergersi per un paio di millimetri dentro un bicchierino pieno di mercurio.

La spirale ha un diametro di dieci centimetri, e conta forse una ventina di spire.

Si capisce che, se saldo a l'estremo superiore un filo,

comunicante con uno dei poli di un elettromotore, e faccio arrivare al mercurio un altro filo in contatto con il secondo polo, l'elica verrà percorsa da una corrente.

Ma due tratti appartenenti a spire successive, e posti sopra una medesima retta, parallela a l'asse, vengono ad essere a punto nelle condizioni richieste per l'attrazione. Quindi la spirale, a pena si stabilisca la corrente, si accorcierà.

Con questo movimento l'estremo inferiore esce dal mercurio e il flusso dell'elettricità rimane interrotto. Ma allora la spirale si distende di nuovo e chiude manifestamente, per sè stessa, il circuito; e così di seguito.

In realtà se, nel modo che ho detto, lancio nell'elica la corrente fornita da una pila di quattro accumulatori, essa comincia a pulsare. E, ad ogni pulsazione, la punta esce dal mercurio; e il flusso si interrompe, dando luogo ad una scintilla assai chiara e rumorosa.

Manifestamente, un'esperienza analoga a questa si potrebbe eseguire, per dimostrare, in vece, l'azione repulsiva fra due tratti di circuito paralleli, ma diretti in senso opposto.

§ 8. — Veniamo adesso ad esaminare rapidamente i fatti principali dell'induzione fra correnti. Io mi servo per queste esperienze di due eliche di filo di rame, avvolte sopra cilindri cavi di legno. I diametri dei cilindri sono scelti in modo che una delle eliche può entrare per l'a punto dentro l'altra.

Adopero ancora un grande galvanometro a quadrante verticale. Su quale principio siano fondati questi apparecchi ho già detto; quanto a i particolari credo inutile insistervi. In quello che impiego, si è unito a l'ago un indice lunghissimo e sottile, i cui movimenti sono ben visibili a distanza. Nella posizione di riposo, vale a dire nella posizione, che il magnete assume quando non v'è corrente nell'elica, che lo circonda, l'indice segna lo zero. Da una parte e da l'altra di questa cifra sono segnati dei

numeri via via crescenti. Lanciando una corrente nell'apparecchio avremo uno spostamento a destra, o pure uno spostamento a sinistra, a seconda del senso nel quale è diretto il flusso dell'elettricità.

E la grandezza della deviazione fornirà un criterio per giudicare dell'intensità del flusso medesimo.

Io metto in circuito con il galvanometro la spirale a diametro più grande, e faccio passare nell'altra la corrente data da quattro accumulatori. Come è naturale l'indice del galvanometro non accenna a muoversi.

E bene, senza nulla alterare nelle comunicazioni, introduciamo rapidamente nella spirale larga quella sottile. Subito si osserva una deviazione, che in questo caso avviene verso la destra di chi guarda il quadrante.

Ma la deviazione non si mantiene, perchè l'indice, dopo di aver oscillato tre o quattro volte; ritorna a lo zero.

Lasciamo che si fermi del tutto, e poi ritiriamo la spirale interna, rapidamente. Da capo l'ago devia, però il suo movimento si fa in senso opposto a quello di prima. L'indice è andato ora su i numeri di sinistra.

Secondo che si avvicina o si allontana l'elica *inducente*, si producono dunque nell'elica *indotta* delle correnti di senso contrario.

Che se volessimo esaminare un po' minutamente le condizioni delle nostre esperienze, si troverebbe che nel primo caso il flusso dell'elettricità si faceva per versi opposti nei due circuiti; nel secondo caso, in vece, per il medesimo verso.

Ho detto sempre che i movimenti, che si imprimono a l'elica inducente, rispetto a l'indotta, devono essere rapidi. In realtà, se ripeto le esperienze spostando adagino la spirale interna, non si osserva nel galvanometro nessuna tendenza a deviare. Queste correnti eccitate per induzione hanno dunque un'intensità, che dipende dal modo come varia la distanza fra i due circuiti in presenza.

Le deviazioni, che abbiamo ottenuto finora, per quanto

sensibili, erano sempre assai piccole. Posso però comunicare a l'ago degli impulsi più vivaci, sommando in qualche modo gli effetti, dovuti a parecchie correnti.

Per questo comincio ad introdurre l'elica inducente nell'indotta, ciò che produce uno spostamento dell' indice verso la destra. Ma quando l'ago ritorna indietro, e oltrepassa, oscillando, la posizione di riposo, ritiro la prima spirale. Ottengo così una deviazione assai ampia da la parte di sinistra. E poi continuo in modo analogo a portare avanti e indietro il circuito inducente, badando sempre a cogliere il momento opportuno.

Come vedono, si riesce assai presto a raggiungere degli angoli di novanta gradi.

In vece che per lo spostamento della spirale inducente, io posso ottenere delle correnti indotte anche in altro modo.

Per esempio voglio lasciare le due spirali una dentro l'altra, e quando il galvanometro è ben fermo interrompere il flusso dell' elettricità nell' elica inducente. Subito l'indice si sposta verso i numeri di sinistra. L' effetto è dunque analogo a quello, che si produceva per l' allontanamento del primo circuito.

Senza più fare esperienze, dirò che lo stabilirsi della corrente nella spirale interna dà luogo, a la sua volta, ad una induzione analoga a quella, che risulta avvicinando la spirale medesima, quando è percorsa da l'elettricità.

Anzi degli effetti simili a questi si ottengono anche facendo soltanto variare (cioè diminuire o crescere) la corrente dell'elica interna.

Tutti i fatti, che ho ricordato, li possiamo raccogliere in una formola unica, ove si osservi che lo stabilire o l' interrompere o il modificare, o lo spostare la corrente inducente porta sempre ad alterare la distribuzione delle forze magnetiche, nell'intorno del circuito indotto.

La cosa è tanto vera ed interessa così profondamente il meccanismo del fenomeno, che le nostre esperienze si

possono ripetere, sostituendo un magnete a la spirale inducente.

Le correnti di induzione, quando siano prodotte in modo opportuno, hanno dei tratti a comune con le altre, che si ottengono scaricando i condensatori. In particolare danno luogo a differenze di potenziale assai grandi in confronto di quelle raggiunte da le correnti delle pile.

Questi fenomeni si utilizzano in molti apparecchi, dei quali il più noto e il più importante per noi è il rocchetto del Ruhmkorff.

Il rocchetto del Ruhmkorff consta essenzialmente di due spirali cilindriche, poste una dentro l'altra. L'interna, l'inducente, ha poche spire di filo assai grosso, l'indotta, invece, ha un gran numero di spire di filo sottile.

Una disposizione automatica (*interruttore*) permette di stabilire e interrompere la corrente del primo circuito molte volte di seguito. Così si ottengono nell'elica esterna delle correnti di induzione, i sensi delle quali si alternano.

Ho quì un rocchetto, assai grande, che ci permetterà di verificare questa circostanza.

A l'uopo metto in circuito con l'indotto un tubo del Geissler e faccio agire l'apparecchio. Si osserva che non vi è differenza fra l'aspetto dei due elettrodi, ciò che si deve attribuire per l'a punto ad una sopraposizione di fenomeni.

Le cose cambiano se lascio ancora nel circuito una interruzione, così che vi scocchi una scintilla di tre o quattro centimetri. Si mostrano subito a le due estremità le apparenze caratteristiche dell'anodo e del catodo.

Bisogna concludere di quì che delle due correnti di induzione, le quali si generano a l'apertura e a la chiusura del circuito inducente, una deve dar luogo a differenze di potenziale assai piccole in confronto di quelle, che sono raggiunte da l'altra.

È facile persuadersi, comandando a mano l'interruttore, che il dislivello maggiore si ottiene in corrispondenza dell'apertura del circuito inducente.

§ 9. — Poi che i fenomeni di induzione sembrano dipendere esclusivamente dal modo come si modificano le forze magnetiche nell'intorno del circuito indotto, ci si presenta subito a lo spirito l'idea di ottenere delle correnti per le azioni induttive di un filo metallico su sè stesso.

Realmente la cosa è possibile e si può constatare con tutta facilità.

Io metto in circuito con il galvanometro una pila Bunsen e un'elica di filo di rame sottile. Questa conta un gran numero di spire. L'ago devia e si ferma in una posizione costante.

E bene, interrompiamo la corrente, ad un tratto. Subito l'indice si muove, ma non si dirige verso il mezzo del quadrante, bensì la deviazione, da principio, cresce ancora un poco.

Quindi si fanno alcune oscillazioni; e si torna al riposo.

Vuol dire che, interrompendo il flusso dell'elettricità, si è prodotta nel filo una corrente, che va nel medesimo senso di quella preesistente.

Un effetto opposto si verificherebbe a la chiusura del circuito.

A questo proposito credo opportuno richiamare la loro attenzione sopra una circostanza notevole. E consiste in ciò che gli effetti di induzione dipendono da la *forma* del circuito, nel quale si studiano.

Così per esempio, se, in luogo di tenere il filo ravvolto ad elica, lo avessi disposto in un cappio unico, la corrente indotta sarebbe stata assai minore.

Questo fatto è collegato con l'altro che in un circuito, percorso da corrente, si hanno degli effetti induttivi con la semplice deformazione.

§ 10. — Ho detto già che la maggior parte dei fenomeni, dei quali ci occupiamo ora, non si possono più riprodurre con il modello idrodinamico.

Anzi tutto non sono imitabili le azioni ponderomo-

trici; tanto se si tratta di un solo circuito quanto se, in vece, se ne considerano due.

Per ciò che riguarda poi le azioni induttive bisogna distinguere. Per vero si osserva, nei due casi, un comportamento diverso.

Propriamente sono i fatti dell'*induzione mutua* quelli, che non rientrano nell'orbita del nostro modello; mentre i fenomeni dell'*autoinduzione* vengono ancora riprodotti da esso.

Quanto a i primi la cosa si intende assai bene, perchè non si vedrebbe come il movimento dell'acqua dentro un tubo possa venire influenzato da ciò, che accade in un altro tubo vicino (*).

In vece si comprende come l'inerzia dell'acqua debba dar luogo a fenomeni, simili in tutto a quelli dell'autoinduzione.

Del resto è facile persuadersi della cosa, con un'esperienza diretta. Riprendiamo a l'uopo l'apparecchio con i tubi manometrici (fig. 11), che impiegammo nella lezione passata. E disponiamolo come allora, e lasciamo che il liquido effluisca.

Poi tutto ad un tratto, serrando il tubo di gomma, che si trova a l'estremità, cerchiamo di interrompere il movimento.

Accade che l'acqua non si rialza senz'altro, tranquillamente nei manometri. Ma anzi si solleva ad una grande altezza, tanto da sgorgare a l'esterno; sopra tutto in quello che è più vicino a l'orifizio di efflusso.

Anche quì si verifica dunque la corrente indotta di apertura, come nel caso dell'elettricità.

Questo comportamento del modello idrodinamico ha un significato logico assai profondo.

Esso ci mostra in fatti come la verità, o per meglio dire l'accettabilità, di una teoria, possa essere limitata.

(*) Almeno fino a che le pareti dei due tubi rimangono rigide.

Ma di ciò e di altre cose analoghe discorrerò più estesamente nella prossima lezione.

***

§ 11. — Ora conviene, in vece, riassumere i resultati principali, che oggi abbiamo ottenuto o anche solo ricordato.

Si riducono in sostanza a la nozione del campo magnetico prodotto da una corrente; e a gli effetti che a sua volta il campo esercita sopra i circuiti.

In particolare ho fatto cenno delle azioni ponderomotrici ed induttive, che un filo esercita sopra sè stesso.

LEZIONE QUINTA.

Modelli dei fenomeni — Teorie meccanicamente equivalenti — Leggi teoriche per la scarica dei condensatori.

§ 1. — Abbiamo visto, nella lezione passata, come il modello idrodinamico non riproduca per nulla i fenomeni di induzione, fra correnti distinte.

Si potrebbe pensare che il motivo vero di questo fatto non stia tanto in una deficienza del nostro apparecchio, quanto, in vece, nella natura stessa della quistione. E di vero può nascere il dubbio che i fenomeni, dei quali ci occupiamo, *non* siano rappresentabili con modelli meccanici.

In realtà le cose non vanno punto in questo modo, e anche per l'induzione mutua si possono imaginare delle disposizioni, che riproducono in ogni dettaglio ciò, che s'osserva nella natura.

Queste disposizioni, in particolare, rappresentano anche i fenomeni, a i quali dà luogo un circuito isolato; e riescono molto interessanti, per ciò che sono completamente diverse dal modello idrodinamico.

Tale sarebbe ad esempio questo mio apparecchio, (fig. 22) (*) (7).

(*) La figura 22, in realtà, rappresenta il modello sotto una forma più completa, quale sarà impiegata più tardi. Per ora si tenga conto di quelle parti soltanto, che vengono descritte nel testo.

TAVOLA I.

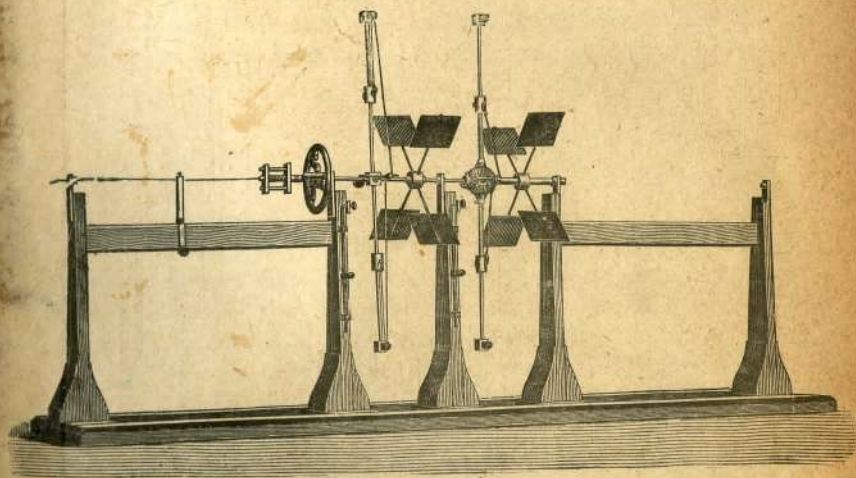
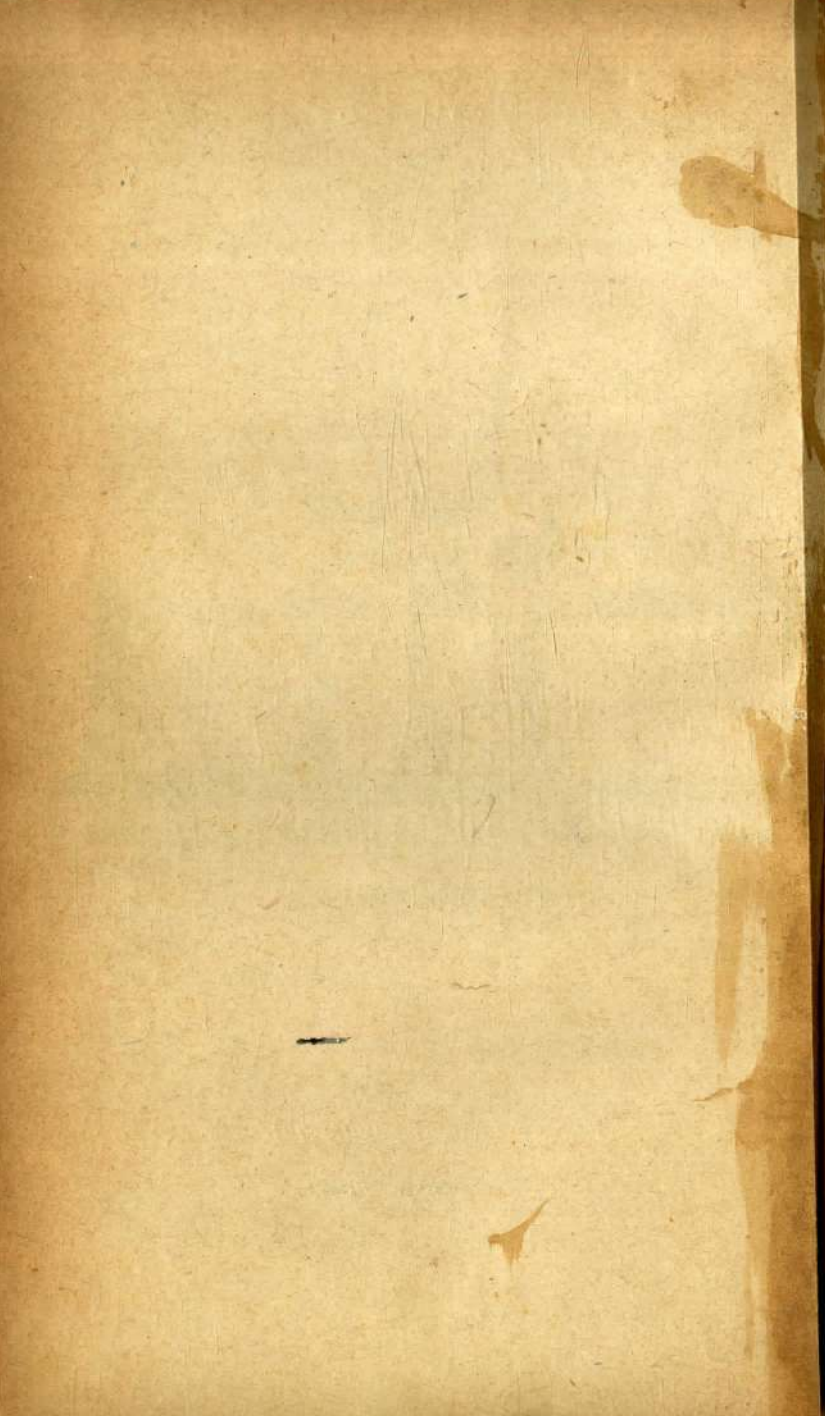



Figura 22 (vedi pagina 72).

Lezione V.

Ad un asse di acciaio, che può girare sopra sè stesso, conservandosi orizzontale, ho fissato un piccolo volano di ghisa e due manicotti. Il primo di questi porta due sbarre, normali a l'asse, e poste una sul prolungamento dell'altra. Il secondo manicotto regge, in vece, quattro asticelle, delle quali ciascuna fa un angolo retto con quella, che la precede. Su le sbarre scorrono due pesi e intorno a le aste girano quattro palette di latta.

In questo modo si può variare il momento di inerzia dell'apparecchio intorno a l'asse; e si può rendere più o meno grande la resistenza, che l'aria oppone a le sue rotazioni.

Così si rappresenta un circuito isolato. E della esattezza della rappresentazione ci possiamo persuadere con alcune esperienze molto semplici.

Dissi già, la volta passata, come le azioni induttive di un conduttore sopra sè stesso, dipendano, quanto a la grandezza, da la forma, che al conduttore si dà.

Similmente, in un sistema meccanico, gli effetti di inerzia, dipendono dal modo, come le masse sono distribuite.

Un'elica a spire serrate dà luogo a fenomeni di induzione più netti che un'altra elica, fatta con il medesimo filo, ed avvolta sul medesimo cilindro, ma con un passo maggiore.

Così si riscontra nel nostro apparecchio una tendenza più spiccata a conservare la rotazione, quando fisso i pesi a l'estremità delle sbarre, che non quando li ritiro, in vece, prossimi a l'asse.

A la spirale a breve passo corrisponde dunque, in un certo senso, un sistema fornito di momento di inerzia assai grande; a l'altra spirale, più allungata, un sistema con momento minore.

Ma dissi anche che talune azioni induttive possono nascere da la deformazione. Per l'analogia con quello, che avviene nel caso dei due circuiti, si può prevedere che schiacciando una spirale si produrrà un flusso in senso

opposto a quello preesistente. Mentre si deve ottenere un flusso diretto nello stesso senso quando la spirale si allunga.

E bene, dei fatti in tutto simili a questi osserviamo anche nel nostro modello. Basta assumere, in pieno accordo con ciò che precede, la velocità angolare della rotazione intorno a l'asse, per rappresentante dell'intensità del flusso.

Propriamente si porrà in movimento l'apparecchio e poi, abbandonandolo a sè stesso, cercheremo di variare ad un tratto il momento di inerzia. Vedremo che al crescere del momento corrisponde una diminuzione della velocità; mentre il moto si accelera quando l'inerzia diventa più piccola.

Nel nostro modello questi effetti si ottengono facendo muovere i pesi su le sbarre. Supponiamo anzi tutto che li si vogliano allontanare istantaneamente da l'asse. A l'uopo sono intercalate fra il manicotto e i pesi stessi due molle, che tendono a mantenerli a distanza. Noi le comprimiamo ed assicuriamo le masse mobili per mezzo di certi fili, che vengono a fermarsi ad un organo centrale. Questo è costruito per modo che, a l'istante voluto, ci permetterà di lasciar liberi i pesi.

Risulta, essenzialmente, da un'asticina, fissata a vite contro il manicotto, perpendicolare a l'asse e a le sbarre. Intorno a la quale, in alto, rota, con un po' di giuoco, un cappelletto di ottone.

E il cappelletto porta, a la sua volta, tre sbarrette di acciaio. Due di queste sono uguali, corte e stanno una sul prolungamento dell'altra; la terza, assai più lunga, è parallela a quelle prime due.

A le sbarrette corte, si assicurano, con cappii, i fili, che trattengono i pesi; mentre la sbarretta più lunga si appoggia a l'estremità di un'appendice, la quale è fermata anch'essa a quell'asticina, che regge il cappelletto.

Si capisce che, quando la terza sbarretta superasse l'estremità dell'appendice, i pesi doventerebbero liberi, e

sarebbero abbandonati a l'azione delle molle. Questo si ottiene presentando al sistema un ostacolo, in modo conveniente.

È nel caso nostro un disco di ottone, sorretto da un manico, il quale è fissato ad uno dei ritti, che sopportano l'asse. In generale il disco non urta contro la sbarretta, ma, volendo, lo si può spostare, in guisa che l'incontro si faccia.

Una disposizione analoga in tutto, a quella, che ho descritto, dà modo di accostare in vece i pesi a l'asse di rotazione. Basta per questo portare le molle a gli estremi delle sbarre; e avvolgere i fili sopra certe carrucole, che ivi si trovano.

Non mi trattengo ulteriormente sopra i particolari dell'apparecchio, e passo senz'altro ad eseguire le esperienze.

Comincio da quella, che dimostra gli effetti di un incremento istantaneo del momento di inerzia. Dispongo ogni cosa nel modo, che ho detto; quindi faccio girare rapidamente il volano, e poi lo lascio libero. E con la mano, abbasso il dischetto. Trascinata nel moto dell'apparecchio, la sbarretta più lunga lo viene ad urtare; e i pesi, non più trattenuti, sono lanciati a l'estremità dei loro sostegni. A l'istante il sistema subisce come un arresto. Questo corrisponde, secondo che si prevedeva, a la corrente indotta, che s'ottiene schiacciando rapidamente un'elica, percorsa da l'elettricità.

Anche l'altra esperienza, nella quale si fa, in vece, diminuire il momento di inerzia, riesce con esito buono.

Io trasporto, come ho accennato, le molle al di là delle masse mobili; e torno a fissare queste ultime con i loro fili. Quindi rimetto l'apparecchio in rotazione.

Lasciando adesso che i pesi doventino liberi di muoversi, essi vengono lanciati contro l'asse; e il moto del sistema si accelera.

Similmente si ottiene un flusso, che coopera con quello preesistente, quando si allunga un'elica di filo conduttore.

Con questo credo di aver provato a sufficienza la bontà del nuovo modello. Un sistema rotante intorno ad un asse equivale dunque, in certo modo, ad un tubo percorso da l'acqua.

§ 2. — Abbiamo quì un fatto, che si è verificato molte volte nella storia della scienza; sul quale è bene trattenersi un momento.

Ogni teoria, che si dà per un determinato ordine di fenomeni, non è in sostanza che un modello, o meglio, è la descrizione di un modello, proposto per i fenomeni stessi.

Quando esponevo Loro l'ipotesi del Mossotti su la natura dei dielettrici, o quella del Poisson su l'induzione magnetica, o la teoria comunemente accettata dell'elettrolisi, io descrivevo in realtà dei sistemi che riproducono, a l'ingrosso, i fenomeni. Ma bisogna guardarsi dal credere che vi sia nelle nostre rappresentazioni tutta la realtà o anche solo una parte.

L'unico legame fra la natura e il modello, nel caso più favorevole, consiste in ciò che le leggi secondo le quali variano le quantità corrispondenti, sono nei due sistemi le stesse.

Ma per questo non si richiede l'identità dei meccanismi; dal momento che di un medesimo fenomeno si possono dare due modelli diversi. Quindi una teoria può essere *vera*, per noi, senza avere in sè nulla del *reale*.

Anche si comprende come sia ozioso, in un gran numero di casi, il discutere sopra il valore relativo di due ipotesi differenti. Entrambe possono essere ugualmente vere, in quanto rendono ragione ugualmente bene di una serie di fatti.

Ho detto *di una serie di fatti* in vece di dire senz'altro *dei fatti* perchè può accadere che una certa ipotesi, vale a dire un certo meccanismo, spieghi, ossia riproduca, alcuni fenomeni e alcuni altri non più.

Da questo punto di vista, ma da questo soltanto, si può stabilire un ordine di *accettabilità* fra le teorie proposte per spiegare una classe di fatti.

Un esempio di ciò, che dico, lo abbiamo nel modello idrodinamico, il quale riproduce i fenomeni di autoinduzione, ma non quelli di induzione mutua.

Vedremo che, in vece, l'altro modello, che ho descritto oggi, si estende anche a questi fatti più complessi.

Vuol dire che esso sarà più *accettabile* del primo.

Ma, lo ripeto, fino a che si resta nel campo dell'autoinduzione, i due apparecchi sono in tutto equivalenti.

Noi chiameremo a punto *equivalenti meccanicamente* due teorie, che spiegano gli stessi fenomeni, basandosi su la descrizione di due modelli diversi.

§ 3. — Chiudiamo la parentesi e torniamo al nostro apparecchio. Occupiamoci subito di vedere come lo si disponga, per metterlo in grado di riprodurre i fatti dell'induzione mutua.

A l'uopo infilo ancora su l'asse una rota dentata conica (pignone) e due manicotti. La rota dentata la fisso in una posizione invariabile, con una vite; e i manicotti girano liberamente.

Di essi il primo reca due sbarre d'acciaio, con due pignoni, e l'altro ha pure un pignone.

Le cose sono disposte in modo che le quattro rote vengono ad ingranare; ciascuna con quella, che la precede e con quella, che la segue (fig. 23).

Il secondo manicotto porta ancora un volano e quattro asticelle, munite di palette. Esso rappresenta, con la sua velocità angolare di rotazione, la corrente del circuito indotto.

Quanto a la parte centrale, il suo ufficio è di trasmettere le azioni *induttive* dal primo al secondo sistema. Gli effetti sono tanto più chiari quanto più grande è il momento di inerzia di quest'organo intermedio.

Ora, nel caso dell'elettricità, si trova che le correnti indotte, a parità delle altre condizioni, crescono con la vicinanza dei due circuiti. Aumentare il momento di inerzia della parte centrale vuol dunque dire rendere più vicini i due conduttori in presenza.

Vedremo che le variazioni del momento danno luogo a punto a fenomeni simili a quelli, che si ottengono per il moto dei circuiti.

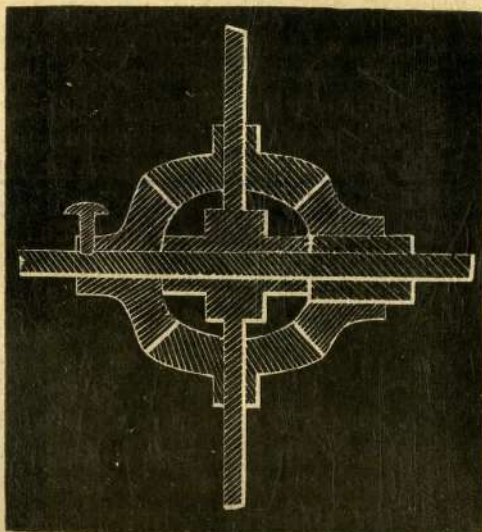



Fig. 23.

Queste variazioni le produciamo, nel nostro apparecchio, con lo stesso artifizio, che s'impiegava testè per alterare il momento di inerzia del primo sistema rotante.

Se si comincia a muovere, a punto, il primo sistema si vede subito che nell'altro *circuito* si produce una corrente opposta a l'*inducente* ; e cioè il secondo volano si mette a rotare nel senso contrario a quello, in che rota il primo.

Ma, quando sono giunto ad imprimere con la mano un movimento uniforme, l' *indotto* si arresta. Similmente non si osservano azioni induttive, che siano dovute ad una corrente costante.

Fermiamo adesso il primo sistema; e senz'altro il secondo si metterà a girare, nello stesso verso, in cui quello

girava. Così se in uno di due circuiti in presenza si interrompe il flusso dell' elettricità, si ottiene nell'altro un movimento diretto come l'inducente.

Ora passo ad eseguire quelle esperienze, che hanno il loro analogo nei fenomeni di induzione prodotti dai moti dei circuiti. E anzi tutto ritiro in vicinanza dell'asse i pesi, mobili su le sbarre della trasmissione. Pongo in rapido movimento il primo volano, poi lo abbandono e faccio che i pesi ridiventino liberi. Allora il secondo volano si mette a girare in senso opposto al primo. Ciò che si poteva prevedere, per l'analogia del fenomeno elettrico.

Finalmente, se dispongo le cose per modo da diminuire d'un tratto il momento d'inerzia della parte intermedia, il sistema indotto entra in rotazione e va nello stesso verso dell'inducente. Qui ancora la somiglianza con il fenomeno elettrodinamico è completa.

§ 4. — L'ufficio delle teorie non è soltanto di raccogliere sistematicamente una serie di fatti conosciuti, spiegandoli con un unico meccanismo: ma anche di mostrare la probabilità di altri fenomeni, non ancora osservati.

La ragione, per la quale ciò riesce possibile è duplice; può darsi anzi tutto che, per *puro caso*, il modello che si è adottato, abbia con la realtà maggiori punti di contatto che non si potesse credere a prima vista.

Ma può avvenire anche che i fatti nuovi siano conseguenze logiche dei fatti già noti; vale a dire siano quelli stessi sotto un'altra forma.

Così, per esempio, che il modello idrodinamico oltre a rappresentare i corpi elettrizzati, renda ancora i fenomeni, a i quali dà luogo il movimento dell'elettricità, in un conduttore isolato, è un puro caso.

Ma una volta che si sono ottenuti questi due resultati, si può, senz'altro, prevedere che il modello idrodinamico sarà anche capace di indicarci quali apparenze debbono accompagnare la scarica di un condensatore.

In realtà esso modello riproduce con esattezza i due

elementi, che entrano nel fenomeno, la scarica, cioè, e il condensatore.

Ora, quando si cerca di rappresentare l'analogo del fatto elettrico si trova che i resultati cambiano di molto ove si faccia variare il diametro interno dei tubi, che s'impiegano per fare l'esperienza.

Ce ne possiamo subito persuadere.

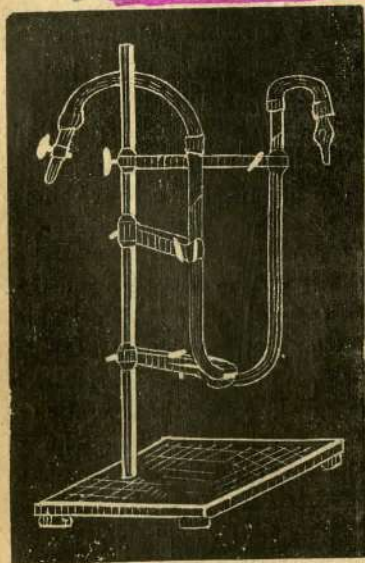



Fig. 24.

Ho quì davanti due apparecchi semplicissimi, in tutto simili fra loro. Si tratta in entrambi i casi di una canna di vetro (fig. 24), lunga un metro o poco meno, curvata ad *U*, aperta a le estremità. Da una e da l'altra parte la canna si continua in un tubo di gomma. Di questi tubi uno è munito di un rubinetto a largo foro, l'altro di un bocchino di vetro, aperto.

La sola differenza fra le due canne consiste in questo che, per una di esse il diametro del foro interno è di due millimetri circa, per l'altra è di un centimetro e mezzo.

In entrambi gli apparecchi vi è adesso una certa quantità di liquido (dell'acqua tinta in rosso con un colore di anilina), che s'eleva nei due rami a metà circa della loro altezza; i rubinetti sono aperti.

Occupiamoci prima dell'apparecchio a canna sottile. Io prenderò ora in bocca il bocchino di vetro, ed aspirerò leggermente, in modo da produrre un dislivello di una trentina di centimetri. Poi chiuderò il rubinetto a l'altra

estremità. Come vedono, il dislivello si mantiene inalterato; abbiamo dunque ciò, che corrisponde a due conduttori in presenza, elettrizzati a potenziale differente. Produciamo la scarica. Per questo basterà aprire rapidamente il rubinetto. L'acqua scende man mano da la parte del bocchino e s'innalza da l'altra, finchè le altezze delle colonne si uguagliano. Ed ogni movimento cessa.

E bene, voglio tentare di ripetere con l'altro apparecchio la stessa esperienza.

Per avere un punto di riferimento segno, con un anellino di carta gommata, l'altezza a la quale giunge il liquido da la parte del rubinetto. Quindi procedo assolutamente come dianzi: aspiro e chiudo, senza più.

Nel ramo chiuso il livello dell'acqua è ora di venti o venticinque centimetri più basso che nell'altro; e così rimarrebbe indefinitamente.

Apriamo. Subito da questa parte l'acqua s'alza, ma le cose non vanno più nello stesso modo di prima. Il liquido supera di parecchio l'anellino di carta, poi si abbassa di nuovo, poi torna ad alzarsi; e ripete questi movimenti diverse volte, facendo escursioni di mano in mano meno ampie, finchè si riduce al riposo. In altre parole la superficie libera dell'acqua ha oscillato adesso alquanto intorno a la posizione di equilibrio prima di riprenderla.

Tradotti nel linguaggio dell'elettrodinamica, questi resultati ci dicono che la scarica di un condensatore deve potersi produrre in due modi differenti.

In certe condizioni l'elettricità passerà, in una sola volta, da l'armatura positiva a la negativa; come, nell'apparecchio a tubo sottile, l'acqua scendeva dal ramo, dove la colonna era più alta, fino a che i livelli fossero divenuti uguali.

In altre condizioni l'elettricità si porterà bensì da principio, da l'armatura positiva a la negativa; ma il potenziale di quest'ultima si eleverà per modo da cagionare un movimento in senso opposto e così di seguito.

oscillanti

Le prime scariche si chiameranno *continue*, e queste altre, delle quali ho discorso ora, si diranno *oscillanti*.

Per analogia possiamo concludere che le oscillazioni elettriche, come le oscillazioni dei liquidi, si *smorzeranno* con rapidità.

Da l'esperimento nel quale, con il modello idrodinamico, si imita la corrente uniforme, segue senza più che a la resistenza elettrica corrisponde l'attrito, che il tubo oppone a i moti dell'acqua.

Da questi fatti, che abbiamo constatato oggi, si può dunque dedurre che la costante, da la quale dipenderà la natura della scarica, sarà a punto la resistenza. Perchè è chiaro che ciò che cambia da uno a l'altro dei nostri apparecchi, è l'attrito contro le pareti della canna.

§ 5. — Dei resultati, che si accordano in tutto con quelli trovati ora, si possono ottenere anche da l'altro modello della corrente. Ove gli si aggiunga un organo, che rappresenti il condensatore.

Come questo si possa fare è assai facile di vedere. Un condensatore è in fatti una disposizione, la quale introduce nel circuito una differenza di potenziale, che va crescendo proporzionalmente a la quantità di elettricità, passata a partire dal riposo, per una sezione qualunque del filo.

Nel nostro modello, poi che la velocità angolare corrisponde a l'intensità di corrente, la quantità totale della carica, trasportata dal flusso, avrà per rappresentazione l'angolo, di cui è girato a partire dal riposo l'asse del sistema. Bisogna dunque trovar modo di applicare a l'apparecchio una forza, che tenda ad ostacolare le rotazioni, crescendo proporzionalmente a la grandezza di queste.

Ciò si può fare ricorrendo ad un corpo elastico. E di vero è ben noto che le forze prcdotte da l'elasticità sono, entro certi limiti, proporzionali a la deformazione. Il resultato è interessante, perchè mostra una volta di più, il nesso, che intercede tra i fenomeni dell'elasticità e quelli dell'elettrostatica (nei dielettrici).

Al caso pratico dovremo unire al nostro modello un filo, che si stiri o si torca, quando l'asse gira.

L'ultima disposizione è di gran lunga la migliore; ed è quella, che ho adottato quì.

Io torno a rimettere l'apparecchio nelle condizioni, nelle quali si trovava da principio; e fermo, in capo a l'asse, una corda da pianoforte. La quale, a l'altro estremo, è serrata a vite contro un apposito sostegno (fig. 22).

Ma non sarebbe conveniente che la corda fosse fissata direttamente a l'asse. Perchè, quando lo si torce, il filo di acciaio si accorcia; sicchè si incurverebbero i ritti o pure si strapperebbe ogni cosa.

Per evitare questo ho interposto ancora, fra l'asse e la corda, un organo metallico, il quale è destinato a sopprimere lo sforzo di trazione, senza impedire per niente, la torsione del filo.

Un manicottino, che si può fermare su la punta dell'asse (fig. 25), porta una tavoletta e due piccole sbarre di acciaio. Su le quali scorre liberamente una seconda tavoletta, simile in tutto a la prima. Vi è però fra le due una molla robusta. Finalmente ad un altro manicottino, incastrato nella seconda tavoletta, si fissa la corda.

Disponiamo ogni cosa per bene, e poi diamo tre o quattro giri al volano, e abbandoniamolo a sè. Il filo di acciaio si storce; quindi si avvolge nel verso opposto a quello di prima, e così di seguito. Sicchè l'asse e tutto il sistema rotano alternatamente nei due versi. Si ha dunque ciò che corrisponde ad una scarica oscillante.

Anche quì se facessi crescere la *resistenza*, facendo più grandi le palette, si arriverebbe da ultimo a la corrente continua.

Ma io non voglio perdere tempo con questo. Accenno piuttosto ad un'altro resultato, che si deduce dal modello. Propriamente lascierò invariata la resistenza; e cambierò, in vece, le altre costanti. A l'uopo sostituisco la corda, che ho impiegato or ora, con un'altra più sottile; ciò che cor-

risponde a introdurre nel circuito un condensatore di più grande capacità. Quindi toglierò affatto i pesi da le sbarre; con che l'autoinduzione doventa meno sensibile.

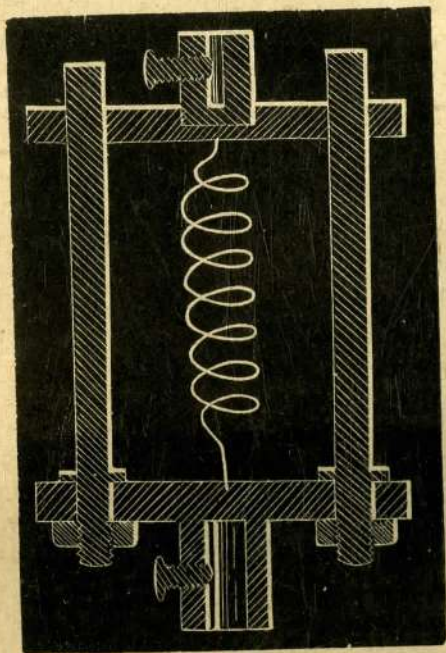



Fig. 25.

Tornando a fare l'esperienza, trovo adesso che la scarica è continua. Vuol dire dunque che quella resistenza, al di là della quale non si hanno più oscillazioni, non è fissa, ma bensì è determinata per ogni circuito.

In particolare si vede che il suo valore è tanto più piccolo quanto più grande è la capacità e meno intensi gli effetti di induzione, nel filo, che si studia.

Il modello ci permette di riconoscere ancora un'altra cosa. Si trova cioè che, nel caso delle scariche oscillanti, il *periodo*, vale a dire la durata di un'oscillazione intera,

con la corda di acciaio e con il momento di inerzia. Io
posso esporre tutto ciò per esteso. Dirò soltanto che
sultati, nel linguaggio dell'elettrodinamica, suonano
:

1. il periodo dell'oscillazione cresce con la capacità
condensatore;

2. ed è tanto più grande, a parità delle altre circo-
nze, quanto più intensi sono, nel circuito, i fenomeni di
toinduzione;

3. la resistenza, al contrario, non influisce sul periodo,
a solo su lo smorzamento; il quale cresce con essa.

***

§ 6. — Tutte queste conclusioni, a le quali ci ha con-
lotto lo studio dei modelli, le dovremo verificare nelle
prossime lezioni. Esse formano in realtà una parte essen-
ziale del nostro corso.

Per ora mi limito a constatare l'utile che deriva da
la rappresentazione meccanica dei fenomeni. E l'importanza
e il significato logico di questo genere di ricerche.

LEZIONE SESTA.

Oscillazioni elettriche — Esperienze del Feddersen — Prime esperienze del Hertz — Onde stazionarie lungo i fili: esperienze del v. Bezold e del Lecher.

§ 1. — I modelli, che abbiamo studiato nella lezione precedente, ci hanno fatto intravedere la possibilità di produrre, con disposizioni opportune, delle scariche elettriche alternative.

A punto di queste oscillazioni mi voglio occupare oggi; e per entrare nell'argomento mostrerò anzi tutto alcune esperienze, che si devono al Feddersen.

Ogni volta che si provoca la scarica di un condensatore, si ottiene necessariamente una scintilla nell' aria atmosferica o in un altro mezzo dielettrico qualunque. Tali scintille prendono degli aspetti diversi quando, a parità delle altre condizioni, si modifichi il circuito di scarica. Il Feddersen studiò, molti anni or sono, i fenomeni, dei quali discorro, valendosi di uno specchio girante (8).

Suppongano di osservare per mezzo di un riflettore una scintilla, e suppongano ancora che il riflettore sia disposto in guisa da poter rotare intorno ad un asse, parallelo a la scintilla stessa.

Se questa è istantanea, o pure ha una durata brevissima, la sua imagine non differirà di molto da l'oggetto; in vece, quando il fenomeno si prolunghi per un certo in-

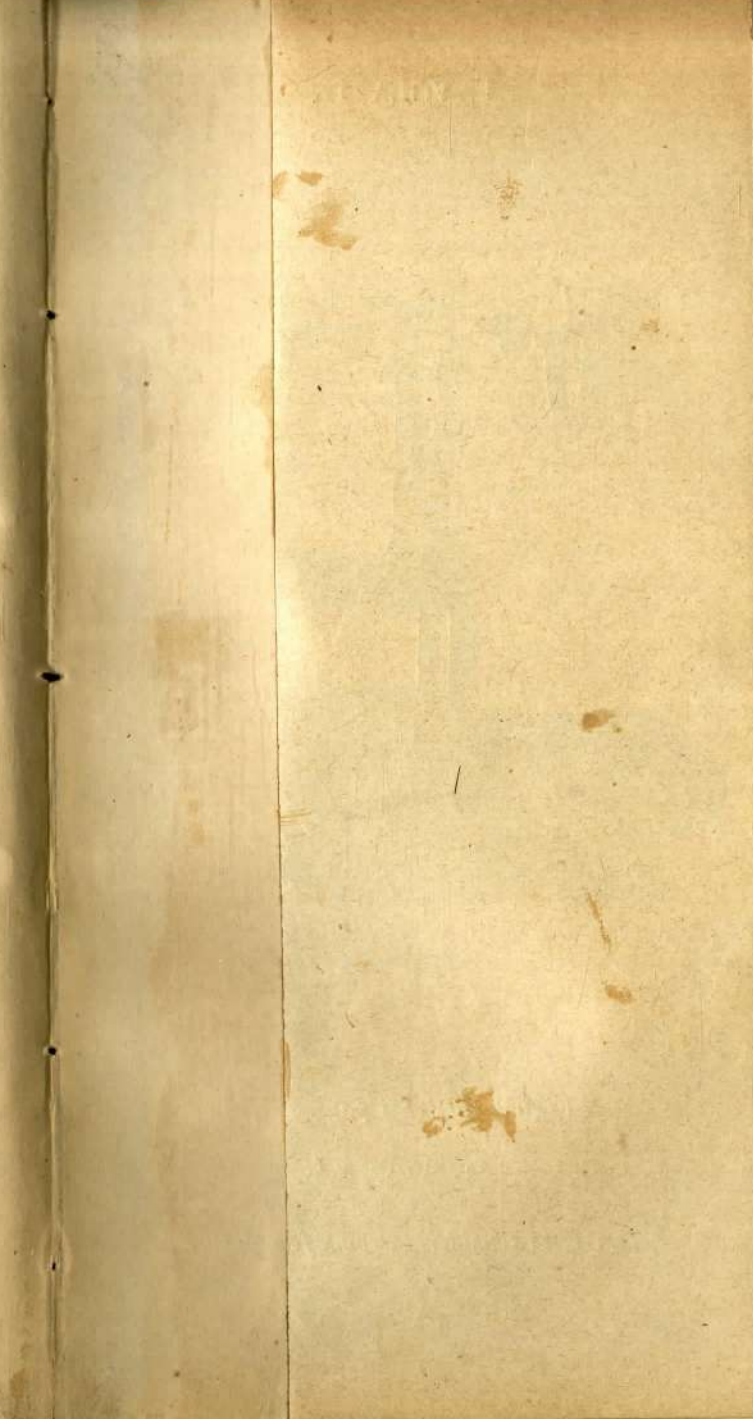



TAVOLA II.

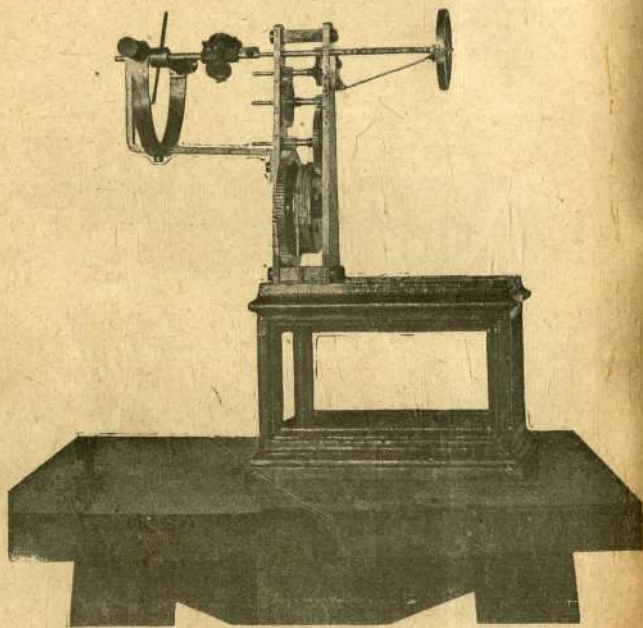



Figura 26 (vedi pagina 87).

Lezione VI.

(La Luce considerata come fenomeno elettromagn

tervallo, il riflettore mostrerà distinte nello spazio quelle fasi, che, in realtà, sono distinte nel tempo. E in luogo di un unico tratto luminoso si vedrà una striscia od un nastro.

Ho fatto costruire un apparecchio, che permette di ripetere agevolmente l'esperienza fondamentale del Feddersen; è questo che vedono davanti a me (fig. 26).

L'organo più importante di esso è costituito da un movimento d'orologeria, che si fa agire provocando la caduta di un peso. Questo mette in moto un asse orizzontale, che, nelle condizioni presenti dell' apparecchio, può compiere da cinquantacinque a sessanta giri per secondo.

Su l'asse sono montati due specchietti, paralleli ad esso e fra loro, ma rivolti in direzioni opposte. Sono specchi concavi con la distanza focale di cinquanta centimetri. Questo vuol dire che ognuno di essi è in grado di dare un'imagine capovolta, in grandezza naturale, di un oggetto, che gli stia davanti ad un metro di distanza. Gli specchi sono assicurati con un sistema di viti, il quale permette di regolarne la posizione per modo che uno prenda esattamente il posto dell' altro, quando l' asse si gira di centottanta gradi.

Ad un metro da questo primo apparecchio ho collocato lo spinterometro (*), nel quale si deve produrre la scarica. Le cose sono disposte in guisa che la scintilla riuscirà parallela a la direzione, intorno a la quale rotano gli specchi; e di qualche centimetro più alta che questi ultimi.

Le palline e, in parte, le aste dello spinterometro stanno dentro una cassetta di legno, la quale è munita di una piccola finestra, su quella parete, che guarda gli specchii.

(*) *Spinterometro* è una disposizione formata da due aste metalliche, con punte o palline affacciate, fra le quali si producono le scariche elettriche.

Sotto a la cassetta poi ho disposto verticalmente una lastra di vetro spulito. È chiaro che a punto su questa lastra si dovrà formare un'imagine dell'intervallo di scarica, quando gli specchii si trovino in posizione verticale. E, se si vuole osservare quì l'aspetto delle scintille, bisognerà disporre le cose in guisa che le scariche passino precisamente nell'istante, nel quale i riflettori sono giunti a quel determinato punto della loro corsa.

Ciò si ottiene assicurando a lo stesso asse, che regge gli specchietti, un organo metallico, il quale chiuda il circuito al momento voluto. È costituito nel nostro caso da due bracci d'ottone, comunicanti fra loro ma isolati dal resto dell' apparecchio. Questi bracci, in continuazione uno dell' altro, passano, una volta per ogni giro, a pochi millimetri da due asticine, delle quali la prima è messa a terra e l'altra è riunita metallicamente a uno dei rami dello spinterometro.

La posizione dei bracci intorno a l'asse è regolata in modo da ottenere il resultato che si desidera.

Ed ora i preparativi dell'esperienza sono presto completati. Basta in fatti collegare il secondo ramo dello spinterometro con uno dei conduttori di una Wimshurst e con l'armatura interna di una grossa boccia di Leida; e mettere da ultimo l'armatura esterna di questa e l'altro polo della macchina in comunicazione con la terra.

Adesso il circuito di scarica è completamente metallico, salvo, ben inteso, l'intervallo d'aria.

E bene, chiudiamo le finestre della sala e mettiamo in azione la macchina e il movimento d'orologeria.

Ad intervalli passano delle scintille, e quelli di Loro, che sono più vicini a me, possono vederne l'imagine su la lastra spulita. E' formata, in ogni caso, da un tratto bianco, luminoso, vivacissimo; che si prolunga in una coda a foggia di nastro, di un bel colore rosso cremisino. Questa raggiunge una lunghezza di quindici o venti centimetri.

Sospendo un istante l'esperimento ed introduco nel

circuito di scarica una resistenza liquida, cioè un tubo pieno d'acqua, acidulata con l'acido solforico. Quindi rimetto in moto la macchina e gli specchii.

Ora il colore e il suono delle scintille è cambiato; sono più rosse e meno rumorose. Anche le imagini hanno preso forma differente. La coda è scomparsa e rimane il solo tratto luminoso; vale a dire si osserva, in sostanza, quello stesso che si vedrebbe fermando i riflettori.

Questi esperimenti bastano già per provare che il fenomeno della scarica si modifica con la resistenza del circuito e che, inoltre, la durata ne è tanto maggiore quanto più tale resistenza è piccola.

§ 2. — Però non segue ancora di quì che le prime scariche osservate da noi fossero oscillanti.

L'esistenza delle correnti alternative si deduce, in vece, senz'altro, da certe esperienze del Hertz (9).

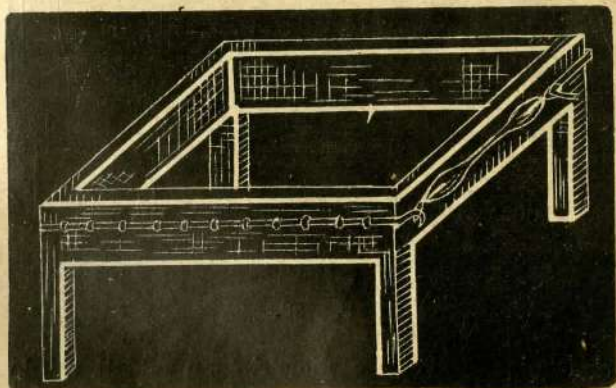



Fig. 27.

Gli apparecchii, che ci serviranno a ripeterle, sono semplicissimi.

Abbiamo anzi tutto un buon rocchetto del Ruhmkorff, messo in azione da una pila di sei elementi Bunsen, ed uno spinterometro a palline un po' grosse (di quattro

centimetri di diametro), le cui braccia comunicano con le estremità polari della spirale secondaria del Ruhmkorff.

Quindi viene la parte essenziale. E' un telaio rettangolare (fig. 27) di legno, il cui profilo esterno misura novanta centimetri nei lati più lunghi e sessanta nei più corti; è orizzontale e sorretto da quattro gambe di legno, alte trenta centimetri. Intorno a questo telaio è teso un grosso filo di rame (di tre a quattro millimetri di diametro). Il filo segue senza interruzione i due lati lunghi ed uno dei lati corti del telaio; su l'altro lato corto è interrotto, da entrambe le parti, a dieci centimetri da l'orlo. Una delle estremità è ripiegata ad angolo retto, l'altra è torta ad uncino. Si adattano quì i due elettrodi di un tubo del Geissler.

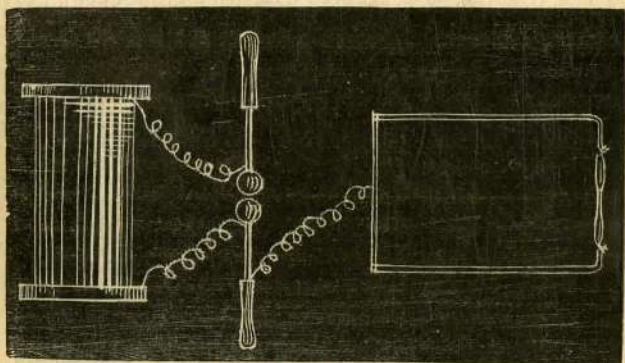



Fig. 28.

Rocchetto R. — Spinterometro a palline — Telajo

Di cinque in cinque centimetri sono saldati al filo di rame degli occhielli metallici, così che si può appoggiare ad uno qualunque di essi un reoforo, che a l' altra estremità si attacca ad una delle sfere dello spinterometro. Di questi occhielli ve n'è uno nel punto di mezzo del lato corto, opposto a quello, che contiene il tubo del Geissler.

Da prima vogliamo metter precisamente questo punto

in comunicazione con lo spinterometro (fig. 28). Lascio fra le palline un intervallo di mezzo centimetro circa e faccio agire il rocchetto. Passa a lo spinterometro una serie continua di scintille bianche, vivacissime, particolarmente sonore, ma il tubo del Geissler rimane oscuro. Interrompo; sposto il contatto lateralmente di una diecina di centimetri, e da capo metto in azione il Ruhmkorff. A lo spinterometro, come è ben naturale, le cose vanno esattamente come prima, al tubo del Geissler no. Quì si vede ora della luce, vale a dire si producono delle scariche. Se io movessi ancora il contatto, sempre nello stesso senso, le apparenze luminose diventerebbero man mano più vivaci.

Come si spiegano questi fatti?

Ecco. Noi possiamo ammettere che la scarica nello spinterometro sia rapidamente oscillante. Oscillerà quindi, rapidamente, sopra una qualunque delle sfere il valore del potenziale.

Ad ogni istante il reoforo, che fa capo a questa sfera, e il rettangolo di filo di rame, che s'attacca al reoforo, tenderanno ad assumere il potenziale, che corrisponde a punto a quell'istante. Supponiamo per un momento che ciò non accada infinitamente presto; che occorra un certo tempo al potenziale per percorrere il reoforo e le due strade, che gli si aprono lungo il rettangolo di filo conduttore. Propriamente supponiamo che questo tempo sia dell'ordine di grandezza di quello, che è necessario perchè muti alquanto lo stato elettrico di una delle palline.

Allora è evidente che, se attacco il reoforo in modo che il potenziale debba percorrere lunghezze uguali per arrivare ad ognuno degli elettrodi del tubo del Geissler, questi si troveranno, ad ogni istante, nelle stesse condizioni, e non si potrà produrre fra essi alcuna scarica. E' ciò che abbiamo riconosciuto nella prima parte dell'esperienza.

Spostiamo, in vece, di alcun poco il punto di contatto del reoforo. Le vie per giungere a i due elettrodi del tubo

del Geissler non sono più uguali, bensì una è più lunga dell' altra. Ne segue che i potenziali, che arrivano in un determinato istante a le due estremità del tubo non possono essere partiti contemporaneamente da lo spinterometro, cioè, almeno in generale, non possono essere uguali. Sicchè il tubo sarà percorso da scariche e diventerà luminoso. Hanno veduto poc'anzi che accade realmente così.

Allontanare sempre più il contatto del reoforo da la posizione, che corrisponde a l'equilibrio, vuol dire far giungere a i due elettrodi del tubo dei potenziali, i quali sono partiti da lo spinterometro in istanti sempre più lontani. Si aumenterà così la forza elettromotrice (*), e le scariche doventeranno ognora più vivaci. Come si intende subito, quando il reoforo sia posto nella posizione mediana, ogni alterazione, che si venga a produrre in una delle due vie aperte al potenziale per giungere a gli elettrodi del tubo, basterà perchè quest'ultimo si illumini.

A modo d'esempio voglio appendere ad uno degli elettrodi, per mezzo di un uncinetto metallico, un foglio di latta (di trentacinque per cinquanta centimetri); quindi pongo il Ruhmkorff in azione. Il Geissler è vivamente illuminato. Posso ora ristabilire l'equilibrio spostando il contatto del reoforo. Nelle condizioni della nostra esperienza, per ottenere tale resultato, è necessario portare il contatto fin verso la metà del lato lungo del rettangolo, che resta da la banda della lastra di latta. Così il tubo si spenge da capo.

Abbiamo visto dianzi, ripetendo l'esperienza del Feddersen, che il carattere della scarica cambiava quando si faceva crescere di molto la resistenza del circuito. E' ovvio supporre che quel cambiamento corrispondesse al passaggio da un fenomeno periodico ad un fenomeno aperiodico.

E bene, ora posso dimostrare, molto semplicemente, che le cose vanno a punto così.

(*) Almeno nelle condizioni delle nostre esperienze.

Pongo il contatto del reoforo addirittura a canto ad uno degli elettrodi del tubo del Geissler; e faccio agire il rocchetto. Le scariche sono ora molto intense; e il tubo si illumina vivacissimamente. A poco a poco, tirando una delle bacchette, faccio crescere la distanza fra le due palline dello spinterometro; le scintille doventano più robuste e mandano un suono più forte e più ingrato di prima. Essendo ora più grande l'intervallo di scarica o, come si dice anche, la *distanza esplosiva*, si raggiungono certamente ad ogni scintilla delle differenze di potenziale maggiori di quelle, che si avevano dianzi; e pure il tubo del Geissler man mano impallidisce. Faccio crescere la distanza esplosiva fino a cinque o sei centimetri e il tubo rimane del tutto oscuro.

Adesso la scarica non è più rapidamente oscillante, i potenziali che arrivano in un determinato istante, a i due elettrodi, benchè non siano partiti insieme da lo spinterometro, sono sensibilmente uguali; e a traverso al tubo non passa quasi punta elettricità.

L'esperienza, che ho fatto ora, mi porge occasione di richiamare la Loro attenzione sopra un particolare, che ha una certa importanza. La scarica data dal rocchetto del Ruhmkorff, già di per sè, non è continua: come sanno ogni volta che s'apre la corrente primaria si ha nell'indotto un movimento d'elettricità in un determinato senso; ogni volta che quella corrente si chiude si ha nell'indotto un movimento in senso opposto. E' evidente che tutto questo deve avvenire indipendentemente da la grandezza della distanza esplosiva. Le oscillazioni della scarica, dovute a l'interruttore, si devono dunque produrre a lo stesso modo, sia che le scintille siano molto lunghe, sia che esse siano, in vece, assai corte.

Due conseguenze possiamo ricavare di quì.

In primo luogo: che il tempo necessario a l'interruttore per fare una volta il suo movimento di va e vieni è grandissimo in confronto di quello, che impiegano i potenziali a percorrere delle lunghezze di uno o due metri.

In secondo luogo: che le oscillazioni elettriche, delle quali abbiamo verificato l'esistenza, si fanno, in certo modo, indipendentemente dal rocchetto. In realtà la parte che fa il rocchetto in queste esperienze, è paragonabile a quella che facevo io stesso, la volta passata, sollevando la colonna liquida in uno dei rami del tubo ad *U*, o pure torcendo, nell' altro modello, la corda da pianoforte.

§ 3. — Posto questo vogliamo fare un passo innanzi; vogliamo dimostrare che le oscillazioni elettriche, che abbiamo imparato a produrre, sono pendolari; vale dire seguono, quanto al modo di variare, almeno nelle linee generali, le stesse leggi secondo le quali si muovono i pendoli, e s'agita l'aria nelle canne sonore, e vibrano le corde degli strumenti musicali.

Faremo la dimostrazione per via indiretta, provando che, con le correnti oscillanti, si possono riprodurre i fenomeni delle onde stazionarie, a i quali danno luogo a punto le canne da organo e le corde vibranti. Molti di Loro sanno senza dubbio ciò che si intende per onda stazionaria; quelli, che non ne avessero un'idea abbastanza chiara, la potranno ricavare da una semplice esperienza, che mostrerò ora.

Prendo un pezzo di fune, grossa un centimetro e lunga circa tre metri, e ne attacco una estremità ad un chiodo infisso nel muro, tengo l' altra in mano, press'a poco a l'altezza del chiodo, e faccio in modo che la fune resti alquanto lenta. Dietro, per tutta la lunghezza della corda ho fatto tendere uno schermo nero. Girando un poco la mano in tondo comunico, gradatamente, a la fune un movimento di rotazione, a punto come fanno i bimbi quando vogliono saltare. A pena sono giunto ad imprimere una velocità un po' grande, arresto la mano e procuro di tendere la fune. Quelli, che stanno di fronte a lo schermo, possono vedere particolarmente bene come si proietti sopra di esso il movimento. I due punti estremi della fune sono immobili, e il punto di mezzo vibra con violenza in su e in

giù; gli altri punti vibrano anch'essi, ma i loro spostamenti sono gradatamente meno ampii, quanto più ci si avvicina a le estremità. Questo particolare movimento rappresenta a punto una delle più semplici onde stazionarie.

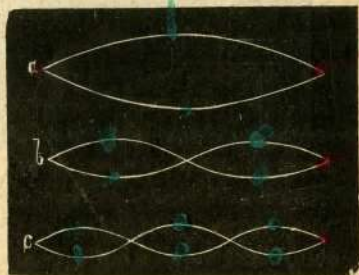
Nella teoria generale delle oscillazioni si sogliono chiamare *nodi* quei punti dell'onda stazionaria, dove la perturbazione (*) è nulla costantemente, mentre si chiamano *ventri* quegli altri punti, dove la grandezza della perturbazione oscilla fra i limiti più lontani.

Possiamo dire dunque di aver osservato dianzi il modello di un'onda stazionaria, avente un ventre nel punto di mezzo e un nodo a ciascuno degli estremi (fig. 29 *a*).

E' molto facile ottenere, con lo stesso procedimento, le rappresentazioni di onde più complesse.

Fig. 29.

Riprendo la fune e agito in giro la mano, come prima, imprimendole ancora un movimento poco ampio ma rapido di va e vieni. Di nuovo la fune si muove in tondo, ma la sua figura è cambiata. Il punto di mezzo è sensibilmente fermo e le sue metà girano, quasi indipendenti, come girava prima l'intero tratto (fig. 30). Se adesso tendo la fune vivamente, come ho fatto allora, si proietta su lo schermo un movimento più complicato. E' ciò che corrisponde ad un'onda stazionaria avente tre nodi e due ventri (fig. 29 *b*).

Ripigliando l'esperimento da capo, con l'avvertenza di muovere la mano più rapidamente, potrei, senza alcuna

(*) Useremo spesso il termine generico di *perturbazione*, quando non importi fissare la natura del processo che si studia, ma si debba tener conto soltanto del modo, secondo il quale il processo medesimo si compie.

difficoltà, ottenere il modello di un'onda stazionaria con quattro nodi e tre ventri (fig. 29 *c*), e così di seguito.

Notino una cosa. Le onde, delle quali abbiamo veduto le imagini, hanno questo di comune, che le loro estremità sono sempre nodi della vibrazione. Ora in natura le cose

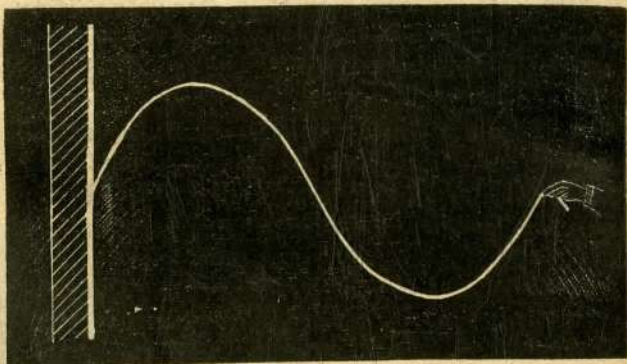



Fig. 30.

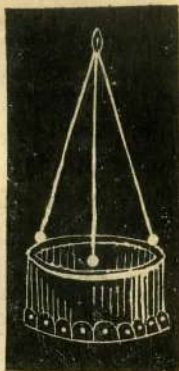
non vanno necessariamente in questo modo. Bensì si possono avere delle onde con ventri a le estremità. Il carattere generale rimane però sempre il medesimo.

Si ottiene l'onda stazionaria tutte le volte che una perturbazione periodica pendolare è rimandata da uno specchio, in modo che il fenomeno riflesso si sopraponga al fenomeno incidente.

Chiamano per solito ***lunghezza d'onda*** il doppio della distanza, che intercede fra due nodi successivi. Di tale distanza si dimostra che essa è il tratto, di cui si propaga il fenomeno, nel tempo, che il sistema vibrante impiega per compiere una vibrazione intera.

Per rendere più chiari questi concetti ho disposto quì, sopra un piccolo mantice, una canna da organo, aperta in alto. Vedranno come, in questo caso, si formi nell'interno, un'onda sonora stazionaria; quì l'estremo superiore, dove si fa la riflessione, è un ventre della vibrazione.

Fig. 31.

Renderò sensibile il modo, in cui si muove l' aria nei varii tratti della canna, con un artificio assai semplice. Dentro un tamburello (fig. 31), coperto da una sola parte con una membrana sottile, e sospeso a tre fili di seta, ho posto alcuni semi di miglio. Verificheremo che, quando la canna suoni, e vi si immerga dentro il tamburello, in certe posizioni la membrana vibrerà, facendo saltare i semi, con un rumore secco caratteristico, in altre posizioni ogni cosa rimarrà in quiete. Quelli saranno ventri e questi nodi della vibrazione.

Faccio agire il mantice e, mentre la canna suona, presento il tamburello a l'imboccatura; i semi si agitano vivamente, quì si ha dunque un ventre. Lascio affondare man mano il tamburello nell' interno; il rumore si calma, finchè cessa del tutto indicando che siamo giunti ad un nodo; quindi riprende e cresce fino ad un massimo nel ventre successivo, e così di seguito.

Se chiudessi con una tavoletta l' imboccatura della canna le cose cambierebbero di molto; propriamente in alto si avrebbe un nodo della vibrazione.

§ 4. — Avremo campo in questo corso di incontrare delle *onde elettriche stazionarie* sia dell'una che dell' altra specie. Per ora ci occorre studiare quelle, che terminano ad un ventre.

Le prime traccie di questi fenomeni si hanno in un lavoro già antico del v. Bezold (10). È assai interessante, dal punto di vista storico e critico, riconoscere come vi siano in germe in quella memoria talune delle cose più notevoli, trovate in appresso dal Hertz, dal Lodge e da i loro seguaci. Pur troppo i tempi non erano maturi e l'ambiente scientifico era allora alquanto distratto. Le ricerche del v. Bezold vennero in luce nel 1870, anno in cui in Europa, e particolarmente in Germania, si pensava a cose meno

belle, forse, ma più immediate a la vita che non siano le correnti oscillanti.

Ho preparato quì tutto ciò che occorre per ripetere l'esperienza capitale del v. Bezold. Ma prima di indicare come sia disposto l'apparecchio, vorrei richiamare l'attenzione sopra la parte più importante di esso. Si tratta, come vedono, di due asticciuole (fig. 32) di grosso filo di

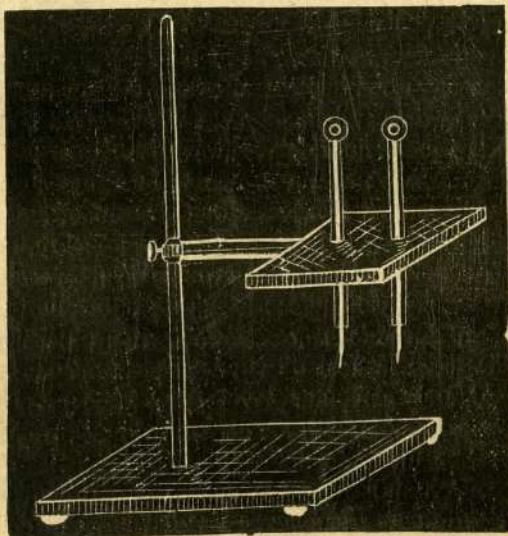



Fig. 32.

rame, che da una parte terminano in un anello, da l'altra in una specie di punta acuminata. Ciascuna di queste entra a dolce sfregamento in un tubetto di vetro. I due tubi poi sono incastrati, uno a canto a l'altro, in una tavoletta di legno, che serve a sostenerli.

La disposizione, che si impiega per fare l'esperienza, è questa. Al conduttore di una piccola macchina del Ramsden (fig. 33) è unita metallicamente una delle aste di uno spinterometro; l'altra asta, per mezzo di una lunga spirale

(la spirale secondaria di un rocchetto del Ruhmkorff), vien posta in comunicazione con il suolo. Si lascia una distanza esplosiva di mezzo centimetro circa. Da la seconda asta dello spinterometro parte ancora un reoforo, lungo forse un mezzo metro, che va a saldarsi a l'anello di una delle

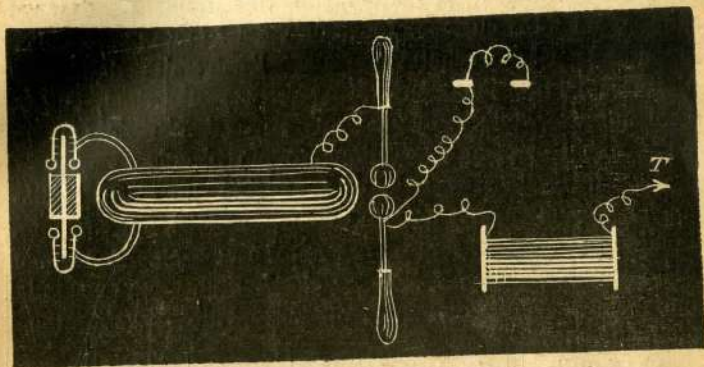



Fig. 33

asticine, che ho mostrato poc'anzi. Fra questo e l' altro anello si possono intercalare dei tratti di filo conduttore ad arbitrio. Così la seconda asticina rimane sempre a l'estremità della conduttura, la prima ne dista più o meno. Voglio intercalare da principio un tratto di filo rettilineo; sarà in tutto di otto o dieci centimetri. Sotto a le punte, in immediato contatto con esse, collocherò un disco di buon vetro isolante, foderato, su la faccia inferiore, di stagnola. Con una catenella pongo questa stagnola in comunicazione con il suolo.

Facciamo girare adesso lentamente il disco della macchina del Ramsden, finchè scocchi un'unica scintilla; quindi proiettiamo, con un soffietto, sul disco di vetro il miscuglio di zolfo e minio, che ci servì altra volta per produrre le figure del Lichtenberg. In corrispondenza delle due punte si presentano ora due stelle, le caratteristiche dell'elettricità positiva. Hanno sensibilmente la stessa grandezza.

Andiamo innanzi. Spostiamo il disco di vetro di qualche centimetro, sicchè le punte riposino da capo sopra una regione non elettrizzata, poi fra i due anelli interponiamo un tratto di fil di rame, assai più lungo di quello che vi era prima. Un metro, per esempio. Facciamo scoccare un'altra scintilla e proiettiamo il miscuglio. Si osserva adesso un fatto curioso. La figura del Lichtenberg corrispondente a la bacchetta che sta a l'estremità della conduttura, ha prossimamente la grandezza di prima, l'altra, sebbene sia prodotta da una punta assai più vicina a lo spinterometro, è, in vece, alquanto più piccola.

Se intercalassi fra le due asticine un tratto di filo anche più lungo, una spirale di cinque metri, per esempio, la differenza fra le figure crescerebbe ancora, ma sempre nello stesso senso. Voglio dire che la figura della seconda punta conserverebbe la sua grandezza, l'altra diventerebbe più piccina.

E' inutile continuare più oltre; perchè già ora si intravedono alcune conseguenze importanti. E di vero si intende facilmente come siano andate le cose. Non occupiamoci per il momento della spirale che pone a terra la seconda asta dello spinterometro; avremo occasione più tardi di riconoscere quale sia il suo modo di funzionare. Per ora ammettiamo semplicemente che le scariche prodottesi a lo spinterometro erano scariche oscillanti. Vuol dire che dei potenziali variabili si saranno propagati, lungo il reoforo laterale, fino a le asticine, che reggono le due punte. L'ultima di queste asticine non si trova per nulla in condizioni differenti da quelle, per esempio, del punto dello spinterometro da cui si stacca la diramazione. Fa parte come quello di un certo conduttore; e se in un determinato istante assume un dato potenziale questo potenziale tenderà a propagarsi di lì per tutta l' estensione del conduttore. E' quanto dire che la perturbazione elettrica, giunta a l'estremità della conduttura, si *rifletterà*: e se il suo modo di variare è pendolare, darà luogo ad un'onda stazionaria.

Le figure del Lichtenberg ottenute da noi provano che questo accade veramente, ma danno anche qualche indicazione più precisa. Abbiamo veduto in fatti che, a l'estremità, si ha sempre una figura assai grande, mentre si trovano dei resultati tanto meno belli, quanto più lontani si va da quel punto. Vuol dire che l'estremo del filo corrisponde ad un ventre della vibrazione; a partire di lì si procede verso un nodo. In realtà, quando le condizioni dell' apparecchio sono buone, è possibile trovare, a tentoni, una certa distanza da l'estremità, per la quale la figura del Lichtenberg riesce minima; procedendo innanzi si ottengono, in vece, delle figure più grandi, perchè si va verso un secondo ventre.

Devo fare ancora un'avvertenza, a proposito di queste figure, che abbiamo osservato. Esse corrispondono tutte ad un'elettrizzazione positiva. E' naturale che avvenga così. Difatti in ogni caso si dovrebbero avere sopraposti i segni delle due elettricità: ora sanno bene che, a parità di condizioni, la figura positiva si produce molto più facilmente che non la negativa.

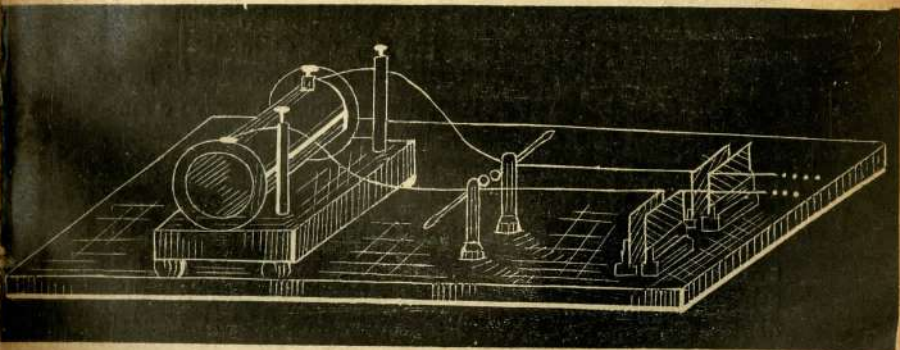



Fig. 34.

Esp. del Lecher

§ 5. — Si possono ottenere delle onde elettriche stazionarie anche con un'altra disposizione, che è dovuta al Le-

cher (11). Con questo procedimento le esperienze riescono più brillanti e più oggettive e si possono meglio dimostrare davanti ad un grande uditorio.

Ho fatto riprodurre l' apparecchio del Lecher in dimensioni assai minori di quelle, che si impiegano di solito; bastano ad ogni modo per le esigenze della scuola.

Sopra un tavolino (fig. 34), a canto al rocchetto del Ruhmkorff, stanno quattro lastre molto spesse, quadrate, di zinco, di quindici centimetri di lato, affacciate due a due, in modo da formare due condensatori uguali.

Ognuna di queste lastre, indipendentemente da le altre, è sorretta da un piede di ebanite, assicurato al tavolo da due viti robuste (fig. 35). La distanza fra le due coppie di lastre è di dieci centimetri; fra le due lastre di una stessa coppia un po' meno di tre. Dal vertice superiore interno di ciascuna lastra si diparte un filo di rame (di 0,13 cm. di diametro); i quattro fili vanno tutti orizzontalmente, e sono normali a i piani delle lastre. Da una parte i due conduttori sono lunghi circa mezzo metro e mettono capo ad uno spinterometro; dall'altra si estendono per tre metri e mezzo. Questi fili più lunghi sono tesi fortemente, mediante due uncini, infissi in aste, che furono fermate a vite contro un altro tavolino. La congiunzione però non è fatta direttamente. Bensì, fra gli uncini e le estremità dei fili, sono interposti due brevi tratti di tubo di gomma (fig. 36), che funzionano da isolante. Queste sono le parti essenziali dell' apparecchio. Ma, per rendere i fenomeni alquanto più intensi, si è trovato conveniente di aggiungere ancora un condensatore presso a l'estremità dei fili più lunghi. È quello che abbiamo fatto qui (fig. 37).

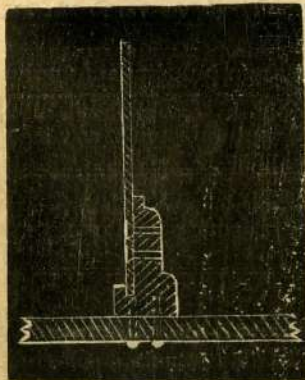



Fig. 35.

Un trenta centimetri prima dei tubi di gomma, abbiamo assicurato a ciascun filo, per mezzo di un morsetto, una lastra di zinco, uguale in tutto a quelle dei primi due

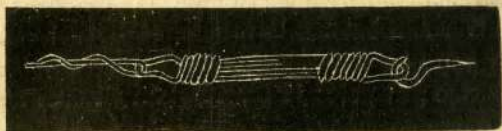



Fig. 36.

condensatori. Queste nuove lastre stanno parallele una a l'altra, e parallele a i fili; riposano sul secondo tavolino, ma vi è interposto un foglio di ebanite.

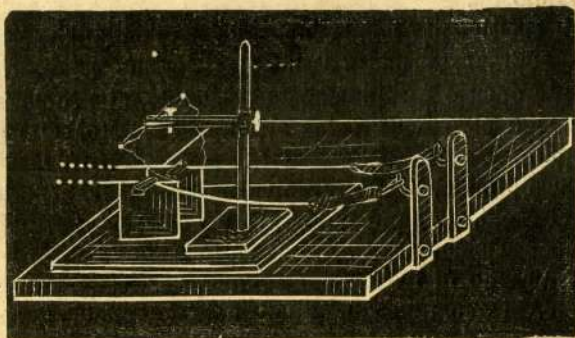



Fig. 37.

Finalmente, per rendere visibili a distanza i movimenti dell' elettricità, abbiamo intercalato quì in fondo il solito tubo del Geissler, collegando ciascuno dei suoi elettrodi con una delle armature del terzo condensatore.

Vediamo ora, prima di fare le esperienze, di renderci ragione del modo di funzionare dell'apparecchio.

Premetto che le due lastre, collegate con lo spinterometro, si sogliono chiamare *lastre primarie*, come si chiama *conduttore primario* il sistema formato a punto da esse e da lo spinterometro. In modo analogo si dà il nome di *lastre secondarie* a le altre due, che stanno in faccia a

quelle prime, e si chiama *conduttore secondario* il sistema delle lastre secondarie e dei fili lunghi.

Le due braccia dello spinterometro essendo collegate con le estremità polari della spirale indotta del rocchetto del Ruhmkorff in azione, le lastre primarie si caricano di elettricità opposte. Per induzione anche le lastre secondarie si elettrizzano; in parte le loro cariche saranno trattenute, in parte potranno muoversi, seguendo i fili lunghi. Propriamente partirà un potenziale positivo da quella lastra secondaria, che sta di fronte a la primaria positiva; da l'altra lastra secondaria partirà un potenziale negativo E giunti a le estremità dei fili lunghi questi potenziali si rifletteranno (*).

Su ciascun filo l'onda incidente e l'onda riflessa saranno sopraposte una a l'altra; se dunque la scarica a lo spinterometro è rapidamente oscillante, si produrranno nei due fili secondarii, come si intende subito, due onde stazionarie.

Queste onde, come avveniva nel caso delle esperienze del v. Bezold, avranno un ventre a l'estremità; e, poi che ogni cosa è simmetrica da una parte e da l'altra, i loro nodi andranno di fronte, per coppie. Anzi si può dire subito che, in generale, due punti affacciati dei fili secondarii avranno in ogni istante potenziali uguali e di segno contrario.

Se ne conclude che, quando si congiungano con un conduttore, o, come si suol dire, con un *ponte*, i due fili, ciò porterà delle alterazioni nei movimenti della elettricità, ogni volta che il ponte non vada da un nodo ad un nodo.

Abbiamo dunque un mezzo semplice ed elegante per riconoscere l'esistenza dei nodi nelle nostre onde stazionarie.

(*) Non teniamo conto della presenza del tubo del Geissler; in realtà esso produce, almeno per ciò che riguarda il movimento dell'elettricità lungo i fili, delle perturbazioni trascurabili.

L'esperienza riesce con la massima facilità. Metto in azione il rocchetto del Ruhmkorff e lascio a lo spinterometro un intervallo di scarica di quattro o cinque millimetri. Il tubo del Geissler a l'estremità del conduttore secondario si illumina vivissimamente.

Riunisco ora con un ponte, un pezzetto di fil di rame, le cui estremità sono torte a uncino (fig. 38), i fili secondarii, un po' prima del terzo condensatore. Il tubo del Geissler si spenge. Sposto poco a poco il ponte, alzando la mano di quando in quando, per vedere se si producono di nuovo delle scariche. Per un po' di tempo il tubo rimane oscuro, ma quando sono giunto ad un metro e trenta centimetri, circa, da l'ultimo condensatore, si comincia ad intravedere qualche apparenza luminosa. Vado innanzi ancora una ventina di centimetri ed abbandono il ponte, allontanando la mano. Il tubo del Geissler è adesso tanto vivacemente illuminato, come lo era dianzi, quando i fili secondari non erano riuniti metallicamente. Vuol dire che il ponte congiunge ora due nodi della vibrazione.

Fig. 38.

Se procedo innanzi la luce torna ad indebolirsi e finalmente si spenge.

*
* *

§ 6. — Volendo riassumere in poche parole, ciò, che abbiamo veduto in questa lezione, ricorderò che, ripetendo certe esperienze del Feddersen e del Hertz, ci siamo persuasi della possibilità di ottenere delle scariche rapidamente oscillanti. Abbiamo riconosciuto poi che, con disposizioni convenienti, si possono produrre delle vere onde elettriche stazionarie lungo i fili conduttori; ne abbiamo concluso che quelle scariche oscillanti erano periodiche e pendolari.

LEZIONE SETTIMA.

Esperienze del Lodge — Esperienze del Tesla — Fulmine e parafulmine — La corrente oscillante ha la sua sede nel dielettrico — Esperienze del Blondlot.

§ 1. — Le correnti oscillanti, che abbiamo imparato a produrre nella lezione passata, godono di alcune proprietà caratteristiche, su le quali voglio richiamare oggi la Loro attenzione.

Ripeterò anzi tutto certe esperienze del Lodge (12), che servono a dimostrare come la resistenza ordinaria dei conduttori, quella, che si potrebbe chiamare la resistenza *ohmica*, perchè trova nella legge dell'Ohm la sua definizione, non ha più per le correnti oscillanti lo stesso significato, che ha per le correnti uniformi.

Quando i poli di una pila si congiungono con due conduttori differenti l'elettricità scorre per entrambe le vie, ma ne passa assai più per la strada, che presenta minore resistenza, comunque sia poi conformata. Per esempio, fra un tratto di fil di rame lungo un chilometro e un intervallo d'aria di pochi millimetri, una corrente uniforme preferirebbe la via lunga; e di vero la resistenza ohmica di quel tratto d'aria, praticamente, è infinita.

Per le correnti oscillanti non avviene così; la strada più corta e più diretta è la prescelta, qualunque ne sia la resistenza (*).

(*) Per tale ragione, nell'esperienza del v. Bezold, (fig. 33), l'elettricità non si disperde nel suolo (T) fino a che il suo movimento persiste.

Possiamo provare questo in diversi modi.

Ho disposto quì (fig. 39) una macchina del Holtz, munita

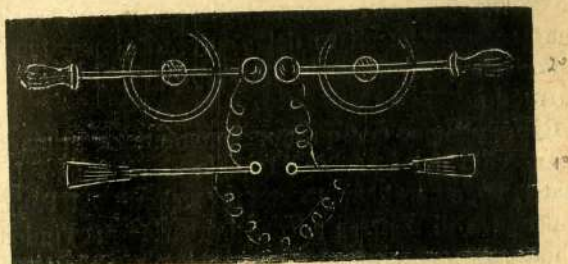



Fig. 39.

dei suoi condensatori, nel modo ordinario (*), e del suo spinterometro. A canto a questo poi ho collocato un secondo spinterometro, facendo comunicare ciascuna delle sue aste con una delle estremità polari della macchina. La distanza esplosiva è per il primo spinterometro di un centimetro, o poco meno, per il secondo di alcuni millimetri soltanto Ho riunito poi uno a l'altro i due rami del secondo spinterometro con un filo conduttore.

Faccio girare il disco della macchina del Holtz, in modo da produrre nel primo intervallo di scarica una serie di scintille. Come vedono anche nel secondo intervallo scoccano delle piccole scintilline bianchissime. La scarica preferisce dunque la via più breve e più resistente a la via meno resistente e meno diretta.

luce

Se ora allontano una da l'altra le palline del primo spinterometro, in modo da ottenere in esso delle scintille più rade bensì, ma più lunghe e più robuste, il fenomeno cambia di natura. E cioè non si hanno più scintille al secondo spinterometro.

Ora sappiamo bene che, quando la distanza esplosiva

(*) Sono due bottiglie di Leida, delle quali le armature interne comunicano con le estremità polari della macchina: le armature esterne sono unite metallicamente una a l'altra.

è un po' grande, la scarica non può più essere rapidamente oscillante, vuol dire che la tendenza a scegliere nel bivio la via più breve, senza badare a la sua resistenza, è una tendenza peculiare delle correnti alternative (*).

Possiamo verificare la stessa proprietà anche in un altro modo.

Riprendiamo, per questo, il conduttore primario dell'apparecchio del Lecher, del quale ci servimmo la volta passata (**), ed eccitiamolo con il rocchetto del Ruhmkorff, avendo cura di mettere ancora in serie su l'indotto del rocchetto, lo spinterometro che abbiamo impiegato or ora.

Se la distanza esplosiva nel primario del Lecher è piccola passano delle scintille anche a lo spinterometro; se, in vece, faccio crescere quella distanza al di là di un certo limite, la scarica (continua) non può più superare il secondo intervallo d'aria. Segue bensì la derivazione conduttrice.

§ 2. — Le scintilline, che mi hanno servito finora per dimostrare questa curiosa proprietà delle correnti alternative, della quale ci occupiamo, sono assai piccole e non facilmente visibili da ogni parte. Può essere dunque che alcuni di Loro non abbiano seguito la dimostrazione in tutti i particolari.

Per ovviare a questo inconveniente ripeterò la prima delle esperienze, che ho fatto oggi, modificandola un poco.

Prendo in luogo della macchina del Holtz il primario del Lecher, eccitato dal rocchetto, ma non pongo più in derivazione su l'intervallo di scarica il secondo spinterometro, bensì il pallone, che vedono quì (fig. 40).

E' un grosso matraccio a tre colli, nel quale con una macchina pneumatica si è rarefatta l'aria, fino ad una pressione di dieci o dodici millimetri di mercurio. Per le due

(*) Questo esperimento è noto sotto il nome di *esperienza del bivio*.

(**) I fili secondari si potrebbero, naturalmente, tralasciare.

tubulature, che stanno di fronte una a l'altra, ho fatto passare delle asticine di rame, munite di sfere di ottone a le estremità. Le sfere distano fra loro di dieci centimetri circa. Esse sono collegate da una spirale di filo conduttore, la quale conta forse cinquanta spire.

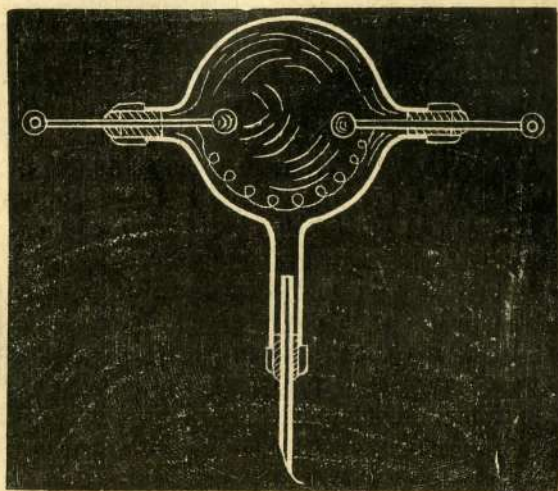



Fig. 40.

Metto, come dicevo, i due elettrodi del pallone in derivazione sul primario del Lecher ed eccito quest'ultimo con il rocchetto, nel modo solito.

La distanza esplosiva è ora assai piccola, sicchè le scariche devono essere rapidamente oscillanti. Come vedono si produce fra le due sfere, dentro il pallone, un bel fiocco di luce rossa assai vivace.

Se allontano le palline dello spinterometro (*) fino a tre o quattro centimetri, ogni luminosità cessa nell'interno dello spazio vuoto, perchè la scarica sceglie a preferenza la via della spirale.

(*) Nel primario del Lecher.

Con questo mi sembra di aver provato abbastanza ciò, che aveva enunciato.

§ 3. — Passiamo ad un altro fenomeno offerto da le correnti oscillanti, e precisamente dimostriamo che, quando seguono un dato conduttore, queste correnti si comportano in modo tale che sembrano essere confinate negli strati superficiali del conduttore stesso. Darò di questo una prova molto semplice. Torno a disporre la macchina del Holtz e lo spinterometro esattamente come al principio della lezione. Però, in vece di mettere in derivazione su le palline un unico filo di rame, come ho fatto testè, ne pongo quattro o cinque, uguali; e per il momento li tengo tutti vicini fra loro (fig. 41), in modo che si tocchino o quasi per l'intera lunghezza.

Metto la macchina in movimento e verifico che le cose vanno esattamente come prima; voglio dire che le scintille passano sempre nello spinterometro, benchè il conduttore derivato sia ora anche meno resistente che dianzi.

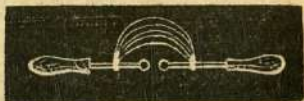



Fig. 41.

Sospendo un istante il movimento della macchina ed allontano una da l'altra le derivazioni (fig. 42), disponendole a distanze press'a poco uguali, in modo da formare intorno a le palline come una gabbia di filo; [quindi torno a girare.

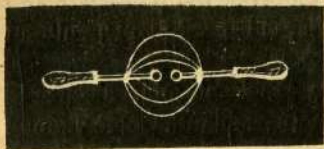



Fig. 42

Nulla è cambiato nei due intervalli di scarica; le scintille a la macchina scoccano sempre, ma nello spinterometro non più.

Torno a raccogliere le derivazioni in fascio, e le scintilline si ripresentano senz'altro.

Così l'assunto è provato. In realtà le due aste dello spinterometro e i fili, che le congiungono, rappresentano

tanti elementi di un medesimo conduttore. Quando lo spinterometro funziona da elemento interno non è più percorso da le correnti oscillanti.

La stessa esperienza si può ripetere con una disposizione poco differente, l'idea della quale si deve al Hertz (13). Su le aste di uno spinterometro ho infilato due dischi di latta, aventi dieci centimetri di diametro; lungo le peri-

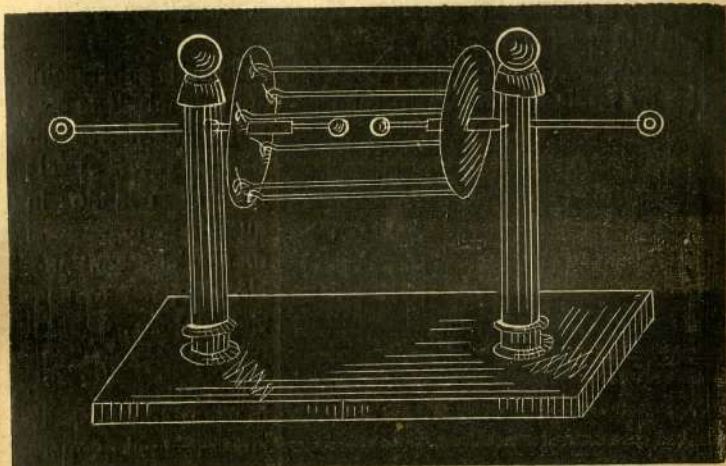



Fig. 43.

ferie di questi, verso l'interno, a distanze costanti, sono distribuiti sei anellini di filo di rame (fig. 43). Si dispongono le cose in modo che gli anellini su i dischi stiano per coppie di fronte, sicchè si possano collegare, due a due, con sei ponti di filo conduttore, paralleli a la scintilla.

Posto questo spinterometro in luogo dell' altro, che impiegavo prima, si verifica senza più che l'esperienza del bivio riesce assai bene quando i sei ponti si raccolgano tutti insieme; mentre non riesce in nessun modo ove si collochi ciascuno di essi al suo posto, così da formare intorno a le palline uno schermo cilindrico di filo conduttore.

§ 4. — Questa proprietà delle correnti oscillanti di non interessare per nulla le parti interne dei conduttori, che le guidano, dà luogo ad un fatto estremamente interessante, sul quale mi voglio fermare un momento.

E' noto che le correnti indotte ordinarie (*) hanno degli effetti fisiologici assai intensi; e bene si trova che, in vece, le correnti regolarmente oscillanti, anche se si producono a potenziali considerevoli, non esercitano su l'organismo nessuna azione sensibile.

Non posso mostrare questo fatto con gli apparecchi, che ho impiegato finora, perchè essi non danno delle correnti alternative abbastanza regolari; ma di quando in quando sono percorsi da scariche continue, ciò che, per lo sperimentatore, è assai poco piacevole (**).

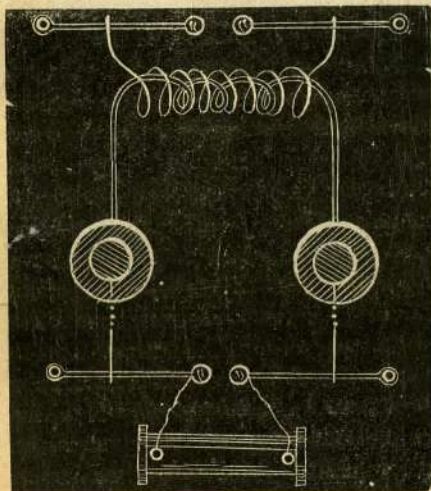



Fig. 44.

L'esperienza riesce, in vece, con tutta sicurezza se si adopera una disposizione, della quale la prima idea si deve al Tesla.

Le estremità polari di un rocchetto del Ruhmkorff (14) comunicano (fig. 44) con le armature interne di due grossi condensatori e con le palline di uno spinterometro.

Quanto a le armature esterne esse sono riunite una

(*) Correnti ad alto potenziale.

(**) Potrebbe darsi anche che il corpo umano, con la sua resistenza impedisca il regime alternativo delle scariche.

a l' altra da un' elica, che conta dieci o dodici spire di grosso filo di rame.

Se si fa agire l' induttore le bottiglie di Leida si caricano fino ad un certo potenziale, che è limitato da la grandezza della distanza esplosiva a lo spinterometro.

Durante la scarica l' elica è percorsa da correnti, le quali, nel nostro caso (se la scintilla non è troppo lunga), riescono oscillanti.

Ora quella prima spirale sta dentro un tubo di vetro a pareti molto spesse, sul quale è avvolta un' altra elica. Questa è di filo sottile e conta duecento spire a l' in circa.

Per evitare delle scariche fra i due circuiti ho immerso tutto il sistema nell'olio.

Si capisce che anche nella seconda spirale passeranno a suo tempo delle correnti alternative; sono a punto quelle che serviranno a le nostre esperienze.

Per ora ho riunito gli estremi dell'elica indotta a i due bracci di un secondo spinterometro.

Faccio agire il rocchetto e regolo il primo intervallo di scarica per modo che esso abbia un sette od otto millimetri di lunghezza. Anche nel secondo intervallo scattano delle scintille, e posso allontanare le palline fino a quattro o cinque centimetri.

E bene, se adesso afferro con le mani le due aste dello spinterometro, così da inserire il mio corpo nel circuito, non provo nessuna sensazione spiacevole, o, per meglio dire, non provo sensazione di sorta.

E notino che, nelle stesse condizioni, un piccolo rocchetto del Ruhmkorff, un rocchetto capace di dare una scintilla di mezzo centimetro, mi cagionerebbe già uno spasimo intollerabile.

La spiegazione del fenomeno si deve cercare, come accennavo da principio, nella proprietà, che le correnti oscillanti hanno, di rimanere confinate negli strati superficiali del conduttore, che le guida. A punto per questo i

miei muscoli, quando impiego l'apparecchio del Tesla, non vanno soggetti a contrazioni.

La disposizione, che abbiamo usato si presta assai bene per dimostrare molti altri fenomeni, a i quali danno luogo le correnti alternative; approfitto della circostanza, per ripetere alcune di tali esperienze.

E anzi tutto, se chiudo le finestre della sala e allontano le palline nel secondo spinterometro, per modo che non passino più scintille, vedranno che i fili, i quali portano da le estremità della spirale indotta a l'intervallo di scarica, si rivestono di fiocchi luminosi, di bellissimo aspetto.

L'esperienza si può rendere anche più brillante collegando con l'elica secondaria due reofori isolati e disposti parallelamente uno a l'altro, a breve distanza.

Quelli, che impiego (fig. 45), hanno forse un paio di

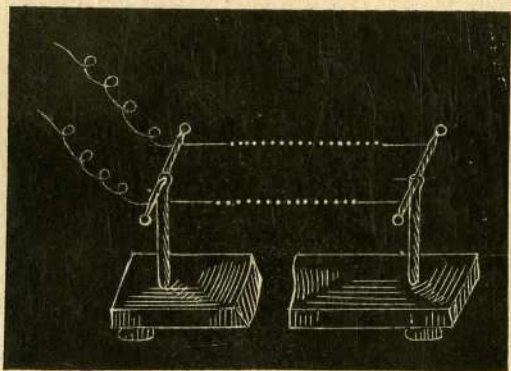



Fig. 45.

metri di lunghezza e sono tesi fra due bacchette orizzontali di vetro; corrono fra essi sette od otto centimetri.

Quando metto l'apparecchio in azione passa fra i due conduttori un gran numero di scintille molto sottili e rossastre, per modo che tutto il fenomeno ha l'apparenza di un lungo nastro luminoso.

Queste correnti alternative producono degli effetti interessanti anche nei palloni a gas rarefatto.

Così per esempio, introducendo in circuito con la spirale secondaria uno dei soliti tubi del Geissler (cfr. fig. 13), questo si illumina, ma si illumina in un modo particolare, e cioè non si osserva più nessuna differenza fra le due estremità.

La cosa si intende subito quando si badi che, per essere la scarica alternativa, ciascun elettrodo agisce successivamente da anodo e da catodo; sicchè da le due parti le apparenze caratteristiche si soprapongono.

Similmente, se studio il comportamento di quest'altro tubo rettilineo, nel quale il vuoto fu spinto molto più avanti, trovo che a i due estremi si sviluppano i raggi catodici. Me ne persuado osservando una lastrina di marmo, che è fissata nel mezzo dell' apparecchio, normalmente al suo asse; questa si illumina per fluorescenza su le due faccie.

Ma posso ottenere degli altri resultati, ben altrimenti curiosi.

Per esempio, non è necessario. per eccitare i palloni a vuoto, che io li metta in diretto contatto con il circuito secondario. Basta che appoggi una mano sopra un punto di questo e poi accosti l'altra ad un tubo del Geissler, perchè esso brilli di luce assai viva.

Le esperienze si potrebbero variare a l'infinito, ma l'interesse, che offrono non è grande; sicchè non è il caso di spendervi molte parole.

§ 5. — Piuttosto voglio fare un'altra digressione.

Alcuni dei fenomeni, che ho descritto oggi, hanno un' importanza capitale per la teoria del parafulmine e sarà bene accennare a questo, brevemente.

Molti di loro avranno certamente sentito raccontare di fulmini caduti, recando danni, sopra case, che si stimavano protette con tutte le regole dell'arte. Avranno anche sentito che, nella maggior parte dei casi, dopo il sinistro, le condutture dei parafulmini si trovavano in ottime con-

dizioni. Ora non è difficile intendere come queste cose possano avvenire.

Per spiegarmi meglio disegnerò su la lavagna un profilo ideale di casa (fig. 46). con il suo bravo parafulmine, *p*,

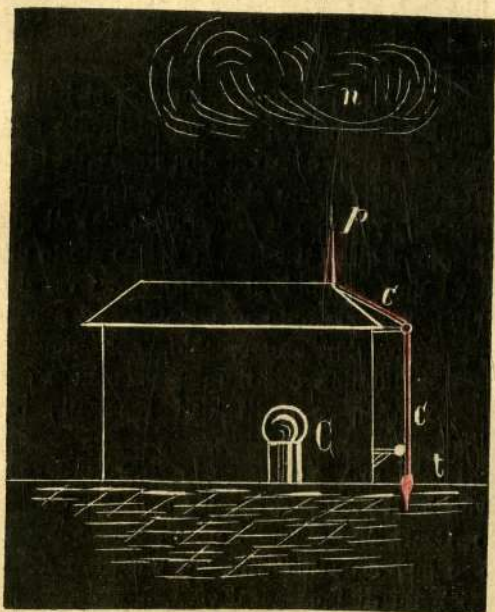



Fig. 46.

e con il conduttore *c c*, destinato a disperdere nel suolo, *t*, le scariche atmosferiche. Segno ancora in alto, nel cielo, una nuvola, *n*, e dentro la casa un grosso conduttore, *C*; sarà per esempio una macchina, o una cassa forte, o qualunque altra cosa.

Quì a canto riporto schematicamente la disposizione di una delle esperienze, che ho mostrato poc'anzi: il primario dell'apparecchio del Lecher (fig 47), messo in serie con uno spinterometro e con l'indotto del rocchetto del Ruhmkorff. Distinguo con lettere le diverse parti, come ho

fatto per l'altro disegno. Chiamo *n* quel polo del rocchetto, che è congiunto con un ramo del primario e *t* il secondo polo: *p p* sarà il sistema forma'o da l'altro ramo del primario e da la pallina dello spinterometro, che è collegata con esso; finalmente *C* sarà la seconda pallina e *c c* la derivazione.

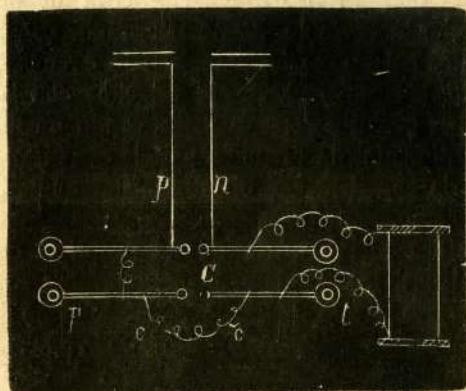



Fig. 47

Basta dare un'occhiata a le due figure per comprendere come il fulmine possa danneggiare la casa malgrado tutte le precauzioni. Sappiamo in fatti che, nella nostra esperienza, quando la scarica fra *p* ed *n* era oscillante, si avevano scintille fra *p* e *C*, quantunque vi fosse la derivazione *c c*. Vuol dire che, se la scarica fra la nube e il parafulmine sarà oscillante, quest'ultimo non costituirà per nulla una difesa; anzi potranno passare delle lunghe scintille fra esso e gli oggetti conduttori, che esistono nella casa.

E' però facile vedere dove si debba cercare un riparo veramente efficace; bisognerà fare in modo che tutte le vie, che il fulmine potrebbe seguire dentro la casa, diventino *elementi interni* del conduttore, che gli si vuol far percorrere. E' quanto dire che, in vece di congiungere l'asta

del parafulmine al suolo con una sola fune metallica, si dovrà disporre un gran numero di queste funi, in guisa da chiudere la casa dentro un involucro conduttore.

§ 6. — Riprendiamo le nostre esperienze. Ho fatto vedere che, per le correnti oscillanti, ciò che interessa è la parte superficiale del conduttore. E bene, a questo proposito si può affermare qualche cosa di più, si può dire cioè che la corrente non è per nulla *nel* filo, ma è *sopra* il filo, nel mezzo isolante, che lo circonda.

Questo è tanto vero che la velocità, con la quale si propaga una perturbazione elettrica, lungo un filo conduttore, non dipende da la natura del conduttore stesso, mentre varia con il mezzo dielettrico nel quale il conduttore è immerso.

Si verifica agevolmente questa proprietà con l'apparecchio del Lecher.

Il primario è ancora quello stesso, che ho impiegato altre volte; il secondario è alquanto modificato. I fili sono ora un po' più lunghi, hanno come prima uno spessore di un millimetro e tre decimi, ma uno di essi è di rame e l'altro è di ferro.

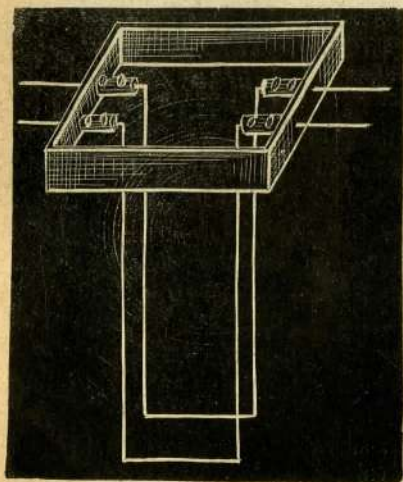



Fig. 48.

A quattro metri da le lastre secondarie mettono capo ad un piccolo telaio rettangolare di legno (fig. 48) e ne traversano un lato. Quì sono assicurati con due morsetti, in modo che non possano sfuggire. Quindi, a partire da i morsetti, si ripiegano

verso il basso a foggia di *U*, e raggiungono il lato opposto del telaio, che traversano pure. Anche da questa parte sono trattenuti da due morsetti. Usciti dal telaio i due fili, dopo pochi centimetri di percorso, si vanno ad uncinare a i soliti tubi di gomma, che servono per tenderli e per isolarli.

Il telaio si può adattare in alto ad una scatola prismatica, aperta, di latta (fig. 49), la quale viene così a comprendere i due *U*, formati da i conduttori secondarii: è alta circa venti centimetri.

Bisogna badare che la scatola non tocchi nè i fili nè i morsetti.

A la estremità del secondario aggiungo al solito il tubo del Geissler, e faccio agire l'apparecchio di induzione.

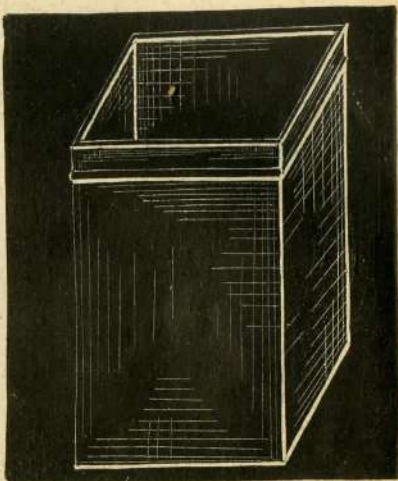



Fig. 49

Un ponte metallico mi permette di riconoscere, come feci la volta passata, la posizione dei nodi. Comincio a metterlo a canto a le seconde lastre, poi lo sposto adagino verso la scatola. Incontro una prima coppia di nodi dopo circa venticinque centimetri, un'altra ad un metro e settantacinque da le lastre, una terza ne potrei trovare più avanti (*). Ma è inutile continuare.

Abbandoniamo il ponte nel secondo nodo e facciamo subito un'osservazione. Ho incontrato delle coppie di nodi in punti affacciati dei due fili; precisamente come quando i conduttori secondarii erano formati con lo stesso metallo;

(*) A metri tre e trenta circa, da le lastre secondarie.

questo prova che le onde hanno la medesima lunghezza, vale a dire, nelle nostre condizioni, la medesima velocità di propagazione, così se si guidano con un filo di rame come se si guidano con un filo di ferro.

Ora posso mostrare facilmente che la velocità, e quindi la lunghezza delle onde, si modifica, in vece, ove a l'aria ambiente, si sostituisca, anche solo in parte, un altro dielettrico.

Il ponte è sempre nel secondo nodo e il tubo di Geissler è vivamente illuminato. Verso un po' di petrolio dentro la scatola di latta, la luce impallidisce gradatamente e, a la fine, si spenge.

Le onde adesso sono costrette a passare per un breve tratto nel petrolio, in questo liquido camminano più lentamente che nell'aria e quindi appariscono scorciate. Che sia realmente così lo posso provare subito movendo il ponte; lo scosto in fatti di venti o trenta centimetri da la sua posizione attuale, verso la scatola, e ritrovo i nodi, e il tubo si riaccende.

Si potrebbe forse dubitare che questo nuovo nodo esistesse già prima, e fosse più netto di quello dove stava il ponte. Ma dimostro senz'altro che il dubbio è infondato, vuotando, con un sifone, la scatola. Come vedono il tubo ridiventa oscuro, mentre torna a brillare vivamente se rimetto il ponte nella posizione primitiva.

Segue da queste esperienze che la corrente oscillante, come avevo detto, scorre *sul* conduttore, il quale non ha altro ufficio che di guidarla, a punto come nelle ferrovie le rotaie guidano il treno.

Anche si intravede un metodo per determinare le velocità relative delle onde elettriche nei diversi mezzi, vale a dire gli *indici di rifrazione* elettrici.

Certe misure, fondate a punto su questo principio, hanno permesso di concludere che tali indici di rifrazione sono, nella maggior parte dei casi, uguali prossimamente a quelli, che si trovano per la luce.

Ciò non prova, ben inteso, che i raggi luminosi si muovano, in un determinato mezzo, con la stessa velocità, con la quale si spostano le correnti oscillanti lungo un conduttore, immerso in quel mezzo medesimo.

Ma è chiaro che basterebbe riconoscere in un solo caso l'uguaglianza delle velocità, per poterne concludere l'identità della propagazione in ogni altro caso.

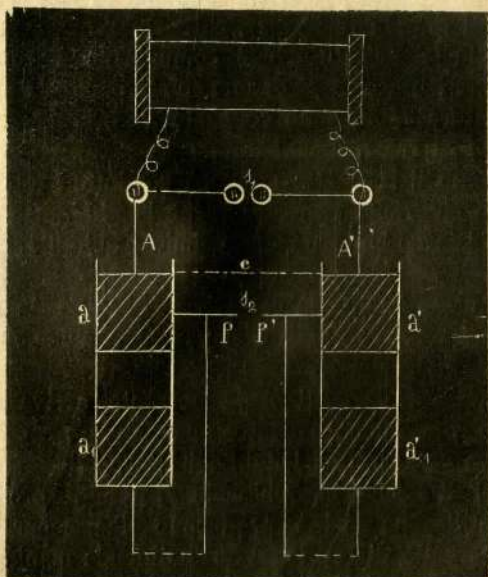



Fig. 50.

§ 7. — Il Blondlot ha affrontato questo problema con una ricerca diretta e lo ha risolto in modo pienamente soddisfacente (15). Egli si è limitato a lo studio di fili tesi nell'aria atmosferica.

Darò un cenno del suo apparecchio e dei suoi resultati.

Due condensatori uguali *A* e *A'* (fig. 50) stanno di fronte uno a l'altro. Le loro armature interne comunicano

con gli estremi della spirale secondaria di un rocchetto del Ruhmkorff e con le aste dello spinterometro s_1.

Le armature esterne sono divise in due parti, ciò che s'ottiene togliendo la stagnola sopra un tratto di superficie, che gira ad anello intorno al condensatore.

Siano a ed a_1, a' ed a'_1, i tratti metallici, che restano sul vetro delle due boccie; di questi i superiori sono riuniti con un pezzo di fune bagnata *c*, un conduttore dunque di grande resistenza.

Di più le armature a a' comunicano ancora direttamente con i bracci p p' di uno spinterometro a punte (s_2); e le armature a_1 a'_1 sono collegate a i bracci stessi da due lunghi fili di rame, uguali.

Quando il rocchetto agisce, i conduttori interni si caricano di elettricità opposte, finchè la differenza di potenziale abbia raggiunto un certo limite; quindi scatta in s_1 una scintilla.

In questo istante le cariche, raccolte su le armature esterne, si trovano libere e si vengono a neutralizzare a traverso l'intervallo s_2.

Solamente da a ad a' la corrente arriva dopo un cammino brevissimo; mentre, per andare da a_1 ad a'_1, essa deve percorrere i lunghi fili interposti.

Vuol dire che, in realtà, in s_2 non si produce una sola scintilla, ma se ne producono due, separate da un certo intervallo di tempo. Il quale dipende manifestamente da la lunghezza dei fili intercalati fra a_1, a'_1 e lo spinterometro, e da la velocità con la quale la perturbazione si sposta lungo i fili medesimi.

Trattandosi di un intervallo assai piccolo non lo si può determinare con l'osservazione diretta. Il Blondlot si servì a l'uopo di un artifizio simile a quello del Feddersen, che abbiamo imparato a conoscere nella lezione passata.

Egli proiettava un'imagine dell'intervallo di scarica s sopra un rotolo di carta sensibile, che faceva girare rapidissimamente intorno ad un asse, parallelo a punto a l'in-

tervallo. In questo modo otteneva ad ogni scintilla due impressioni separate.

Conoscendo la lunghezza dei fili e il numero dei giri, che il cilindro sensibile compie nell' unità di tempo; e misurando ancora la distanza, che intercede fra le imagini, corrispondenti a una stessa scarica, si può dedurre con un calcolo molto semplice, la velocità della perturbazione lungo il conduttore.

Da una delle sue esperienze (*) il Blondlot ottenne per questa costante il valore:

$2{,}96.10^{10}$ centimetri per secondo.

Si tratta dunque di una velocità poco diversa da quella della luce nell' aria, a la quale le numerose misure assegnano concordemente la grandezza di

3.10^{10} centimetri per secondo.

Di quì si deduce subito, come avvertivo, che, anche in ogni altro mezzo, i raggi luminosi e le perturbazioni elettriche, guidate da i fili metallici, hanno, press'a poco, la stessa velocità.

* * *

§ 8. — Nella lezione d'oggi abbiamo dunque ottenuto alcuni resultati notevoli. E propriamente abbiamo verificato da prima che per le correnti oscillanti la resistenza ohmica non ha il medesimo significato, che ha per le correnti uniformi. Quindi abbiamo riconosciuto che, nel caso delle scariche alternative, la parte interna del conduttore non entra affatto in giuoco; che anzi la corrente è guidata dal filo, ma risiede propriamente nel dielettrico, e si muove in esso come un raggio di luce.

(*) Fatta con fili di circa un chilometro.

LEZIONE OTTAVA.

Fenomeni di risonanza — Raggi di forza elettrica: corpi opachi e corpi trasparenti; propagazione rettilinea; riflessione e rifrazione.

§ 1. — Le proprietà delle scariche alternative, delle quali ho discorso nella lezione passata, dipendono dal loro modo rapido di variare, ma non da la loro periodicità (*). Passiamo oggi a lo studio di certi fenomeni, i quali servono, in vece, a porre in risalto la natura periodica delle correnti oscillanti.

Intendo parlare dei fenomeni cosidetti di *risonanza.*

E' questo un argomento assai importante, perchè il fatto della risonanza ha una gran parte in quasi tutte le esperienze, che faremo d'ora innanzi. E del resto questo fatto si presenta in altri campi della fisica, in meccanica, in acustica, e, come avremo occasione di vedere, anche nell' ottica.

Enunciare a parole, in modo generale, il principio della risonanza non è molto facile. Volendo, si potrebbe dire press'a poco così: dati due sistemi capaci di subire una perturbazione periodica, se uno solo di essi è in quiete e l'altro gli può in qualche modo comunicare il suo movi-

(*) In qualche caso bensì, per le nostre dimostrazioni, ci siamo approfittati della circostanza che le correnti impiegate erano alternative; così, per esempio, nell'esperienza con l' apparecchio del Lecher.

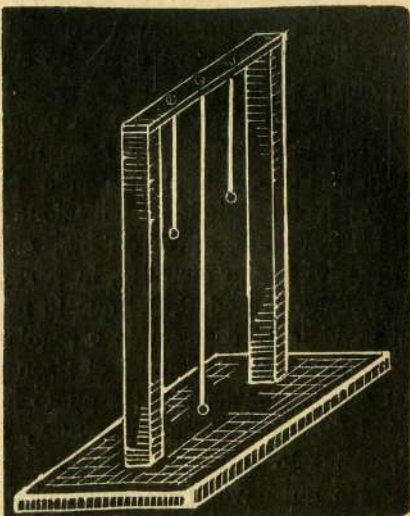
mento, l'eccitazione si farà tanto meglio quanto più vicini sono i periodi, che spettano a i due sistemi in quistione.

Mi spiegherò meglio con qualche esempio, e cercherò anche di far comprendere la ragione dei fenomeni di risonanza.

Ho disposto uno a canto a l'altro, sopra un medesimo sostegno tre pendoli (fig. 51); semplici fili d'acciaio, che sostengono delle palline di piombo.

I punti di sospensione sono allineati, ad intervalli uguali. Di questi tre pendoli quello di destra e quello di sinistra sono in tutto simili, avranno un metro di lunghezza a l'in circa; il terzo è alquanto più lungo.

Fig. 51.

Sposto un poco da la sua posizione d'equilibrio il pendolo di destra e lo lascio oscillare liberamente. Si comincia già ora a vedere, e si vedrà meglio fra qualche minuto, che il pendolo di sinistra, a poco a poco, entra anch'esso in movimento; l'altro, più lungo, rimane quasi del tutto immobile.

Ora sanno bene che ciò, che determina il periodo di oscillazione di un pendolo, è a punto la sua lunghezza.

Questo, che osserviamo, è dunque un vero fenomeno di risonanza, almeno prendendo la parola nel senso più generale, che ho indicato.

E si vede subito come il fatto si possa spiegare. Al principio del suo movimento il pendolo mobile, a traverso al sostegno, ha comunicato un piccolo impulso a quell'altro

pendolo, che gli è in tutto uguale; questo si è mosso in un certo senso ed ha cominciato ad oscillare impercettibilmente. Più tardi il pendolo di destra ha mandato sempre degli impulsi che in ogni istante favorivano il movimento del pendolo di sinistra. Per esempio, l'impulso impresso dal pendolo di destra a la fine della sua prima mezza oscillazione, tendeva a muovere l'altro pendolo in senso opposto a quello in cui s'era spostato al principio del moto. Ora, mentre riceveva questo nuovo impulso, il pendolo di sinistra aveva compiuto a punto una mezza oscillazione e si muoveva, già di per sè, nel senso opposto a quello, in cui s'era mosso da prima.

Naturalmente queste cose non si possono dire del terzo pendolo, il quale, essendo più lungo di quello di destra, ha un periodo d'oscillazione completamente diverso. Quì è avvenuto, senza dubbio, che alcuni degli impulsi successivi hanno distrutto, in parte, l'effetto di quelli, che li avevano preceduti. Per questo non si è potuto produrre un movimento così ampio e regolare come nel primo caso.

Altri esempii semplici di risonanza si possono cercare nel campo dell'acustica; a punto in esso si osservarono i primi fenomeni di questa natura, e il termine stesso di risonanza lo indica.

Ho quì davanti un sonometro, una cassa armonica, su la quale ho disposto tre corde uguali. Di queste corde la prima e l'ultima rendono il medesimo suono, quella di mezzo invece dà un suono alquanto diverso e propriamente più basso.

Voglio ora, con un archetto, strofinare vivamente una delle due corde uguali, in modo da farle eseguire delle oscillazioni assai ampie; per rendermi conto di ciò, che faranno le corde rimanenti, pongo su ciascuna di esse, verso il mezzo, un piccolo cavaliere di carta.

Faccio dunque vibrare la prima corda, dandole un colpo d'archetto. Gli effetti di questo movimento sono chiari, il cavaliere della terza corda è caduto di sotto, l'altro è rimasto al suo posto.

Vuol dire che l'oscillazione si è comunicata solamente a la corda, che era a l'unisono con quella sfregata. Ora si sa da l'acustica, che l'altezza del suono è legata con il periodo di vibrazione in questo modo: che due sistemi danno il medesimo suono se oscillano con la stessa frequenza. Il fatto, che abbiamo osservato, è dunque perfettamente analogo a quello, che si riscontrava nel caso dei tre pendoli.

In quest'esperienza e nella precedente i due sistemi, che uno esercita e l'altro patisce l'azione, erano in tutto uguali. Non se ne deve concludere che le cose vadano sempre necessariamente così. È possibile anzi, in certi casi, ottenere dei fenomeni di risonanza fra sistemi di struttura dissimile.

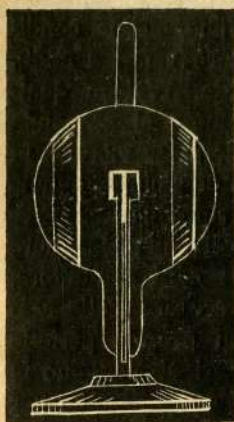
Un esempio di questo si ha già nel fatto notissimo che la voce umana può mettere in vibrazione le corde di un piano-forte; un altro caso, particolarmente interessante, lo forniscono le esperienze del Savart (16) sopra le vene liquide. Un getto d'acqua, formato a traverso ad una parete sottile, presenta, quando si verifichino alcune condizioni, dei rigonfiamenti e delle strozzature (ventri e nodi), e manda un suono di altezza determinata. Avviene qualche volta che i ventri e i nodi manchino e si sospenda l'emissione delle onde sonore. Basta allora far vibrare, in prossimità dell'apparecchio, una corda di violino, opportunamente tesa, perchè il fenomeno si riproduca.

§ 2. — Ma torniamo a le nostre correnti; esse pure offrono dei fatti di risonanza. E cioè: ogni conduttore, costituito in modo che vi si possano eccitare delle scariche rapidamente alternate, possiede un proprio periodo di vibrazione. Se due di tali conduttori si pongono in presenza, e se ne mette uno in azione, si destano per ciò solo nell'altro delle correnti oscillanti; e queste sono tanto più intense quanto più prossimi sono i periodi proprii dei due conduttori.

Dimostrare direttamente questa proposizione è molto

difficile, mi accontenterò dunque di darne una prova indiretta. L'esperienza la condurremo così. Uno dei due conduttori, quello a punto che verrà eccitato con il rocchetto, non avrà una forma fissa, bensì sarà costituito per modo che si possa far variare continuamente una delle costanti che lo definiscono. L'altro rimarrà sempre uguale a sè stesso e sarà munito di un tubo a vuoto, che ci fornirà un criterio per giudicare dell' intensità delle correnti, che lo percorrono. Vedremo che la luminosità del tubo diventerà massima per un unico valore di quell'elemento variabile del primo conduttore.

Gli apparecchi che si impiegano per quest'esperienza sono relativamente semplici.

Il circuito nel quale ecciteremo, *per risonanza,* le correnti oscillanti, e che chiameremo d' ora innanzi il *risonatore* o il *secondario,* è quello stesso rettangolo di filo di rame, che impiegammo nella lezione passata, ho cambiato solamente il tubo a vuoto. Le correnti, che si producono nell'esperienza presente, sono assai meno intense di quelle, che si ottenevano allora, è necessario quindi che il tubo di scarica sia assai più sensibile.

In questo, a palla, che vedono quì (fig. 52), il vuoto fu spinto molto innanzi, così da rendere possibile la produzione dei raggi catodici.

Non vi sono elettrodi o, meglio, essi sono costituiti da due cerchietti esterni di stagnola. Fra questi, nel mezzo della palla, vi è una pastiglia biancastra, portata da un tubicino di vetro (17).

Fig. 52.

Se a le due armature si fanno arrivare delle correnti oscillanti, la pastiglia, che è probabilmente un miscuglio di solfuri di metalli terrosi, brilla di una pallida luce verdognola, mentre il resto del tubo rimane al buio.

Quanto a l'apparecchio, che va messo in azione con il rocchetto, e che diremo *eccitatore* o *primario*, esso consta essenzialmente di due tratti rettilinei di filo conduttore sottile, posti uno sul prolungamento dell'altro (fig. 53).

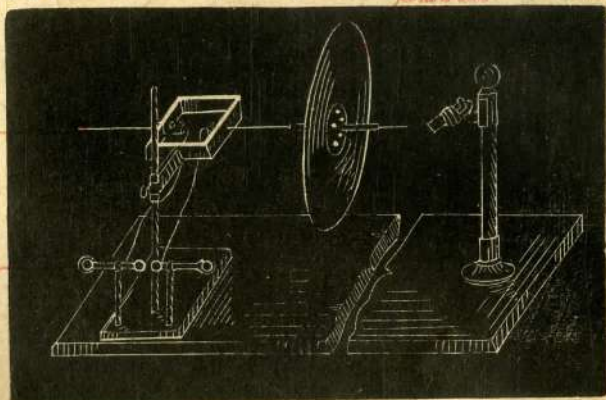



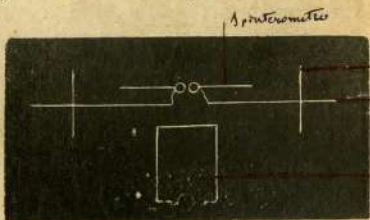
Fig. 53.

Questi tratti di filo sono tesi a le estremità nel modo consueto, ed in mezzo mettono capo ad un piccolo telaio, al quale sono assicurati con due morsetti. E da i morsetti si staccano i conduttori, che vanno a lo spinterometro.

Vi sono poi due grossi dischi di latta, di quaranta centimetri di diametro, i quali, mediante certi tubetti d'ottone, che li traversano nel mezzo e comprendono i fili, possono scorrere su questi, uno da una parte e l'altro da l'altra.

Si modificherà l'eccitatore a punto con lo spostare i dischi in un senso arbitrario.

Fig. 54.

Pongo il risonatore a canto a l'altro circuito (fig. 54) in modo che sia parallelo ad esso, e ne disti di pochi centimetri il lato corto, che non contiene

il tubo di scarica. Quindi allontano i dischi fino a l'estremità dei fili primarii e collego le sfere dello spinterometro con i poli di un rocchetto. Faccio agire quest'ultimo.

Il pallone vuoto è per ora completamente spento. A poco a poco sposto i due dischi, spingendoli con un bastoncino di ebanite, e procurando che distino sempre entrambi ad un modo dal punto di mezzo del primario.

Quando i dischi sono giunti in tale posizione che la distanza fra essi è di circa un metro, la pastiglia comincia a brillare. Se continuo nel movimento la luce cresce ancora un poco, quindi diminuisce da capo e si spenge.

Vi è dunque per il conduttore primario una certa condizione nella quale esso eccita il risonatore con particolare efficacia. Sembra ovvio ammettere che questo massimo effetto corrisponda a punto a l'istante, in cui s'uguagliano i periodi di vibrazione dei due circuiti.

§ 3. — Si può trarre partito di tale proprietà per studiare in che modo si propaghi l'azione dal primo al secondo conduttore. Nel caso della risonanza, in fatti, l'eccitazione si fa, quand'anche corra fra i due circuiti un intervallo un po' grande.

Impiegheremo spesso, d'ora innanzi, una coppia speciale di apparecchi, rispondenti a tutte le esigenze. Sono quelli, che ho disposto quì.

L'eccitatore (fig. 55) è formato, secondo le indicazioni del Hertz (18), da due cilindri cavi di ottone, lunghi tredici centimetri e larghi tre, muniti, a le estremità affacciate, di sfere di quattro centimetri di diametro. Ognuno di questi cilindri, mediante certi anelli di ebanite, lavorati in due pezzi, è assicurato ad un piede. Il quale può scorrere dentro una scanalatura praticata in una lunga tavoletta di legno. Serrando una vite si può fissare il cilindro nella posizione più conveniente.

Quanto al conduttore secondario esso consta (fig. 56) di due lamine di latta (19), lunghe ventisette centimetri e larghe cinque. Sono disposte una sopra l'altra in un me-

desimo piano, a piccola distanza (cinque cent. circa). La metà superiore è sospesa ad una tavoletta di legno con due cordoncini di seta non tinta; l' inferiore è raccomandata a la prima con altri due cordoncini simili a quelli. E nello stesso modo vien tenuta ferma dal basso.

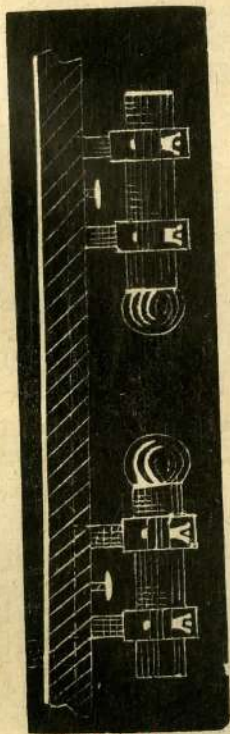



Fig. 55.

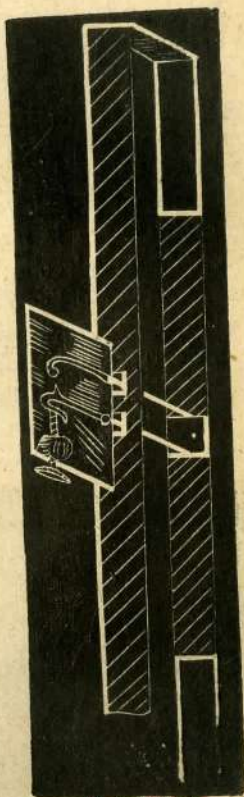



Fig. 56.

Da le estremità affacciate di queste lastre di latta partono due fili metallici molto sottili, che conducono a quella parte dell' apparecchio, dove si verifica la presenza delle correnti indotte.

Le differenze di potenziale, che si raggiungono quì, sono assai piccole in confronto di quelle, che abbiamo ottenuto per l'addietro; sicchè non sarebbe possibile l'impiego di un tubo del Geissler o di altro apparecchio a vuoto. Bisogna accontentarsi di osservare delle scintilline brevissime.

Per questo uno dei due fili, dei quali ho parlato, e precisamente l'inferiore, mette capo ad una sferetta di platino di quattro millimetri di diametro. L'altro, in vece, porta ad una molla, fornita di una punta sottile, anch'essa di platino. La punta sta proprio davanti a la pallina, a breve distanza. Questa si può variare in modo continuo premendo con una vite sopra la molla.

Siccome le piccolissime scintille, che s'ottengono nel secondario, quando l'eccitatore funziona, non si potrebbero vedere da tutti, è indispensabile, per le esperienze dimostrative, ricorrere a qualche artifizio. Noi ne impiegheremo uno, suggerito dal Boltzmann (20), che si fonda sopra una proprietà, della quale godono le scintille, la proprietà cioè di essere ottimamente conduttrici. Si tira partito di questa

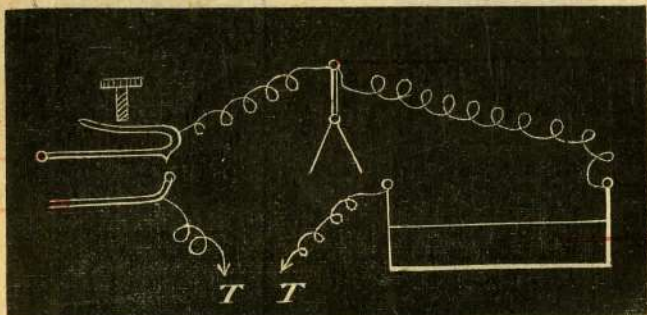



Fig. 57.

circostanza, corredando il risonatore di una pila secca e di un elettroscopio. Dei due poli della pila uno si mette a terra (fig. 57), e l'altro si fa comunicare con il bottone dell'elettroscopio. Il quale bottone si collega metallicamente

con la parte superiore del secondario, mentre la parte inferiore viene posta in comunicazione con il suolo (T). Se la punta non tocca la pallina, e nemmeno si producono scintille, l'elettroscopio riceve da la pila secca una carica e la conserva; quando, in vece, scoccano delle scintilline, l'elettricità passa direttamente da la pila nel suolo, e l'elettroscopio non si può caricare.

Se adoperassi un comune apparecchio a foglie d'oro, le sue indicazioni non sarebbero visibili a distanza; preferisco dunque impiegare un piccolo elettroscopio, costituito in modo che con la lanterna di proiezione se ne può formare un'imagine assai chiara sopra uno schermo.

E' una cassettina di vetro, a faccie piane e parallele (fig. 58), il cui coperchio è traversato da uno stilo metallico, che reca in basso due pagliuzze sottili.

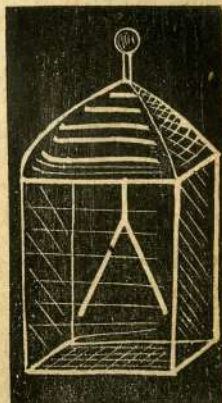
Fig. 58.

Questa cassettina è alta cinque centimetri circa, larga tre, e profonda due.

§ 4. — Ed ora, conoscendo, almeno nelle linee generali, tutti gli apparecchi necessarii per le esperienze, possiamo fare un passo avanti, ed incominciare quella, che è forse la parte più importante del nostro corso.

Consisterà, come dicevo dianzi, nello studio delle leggi, secondo le quali si trasmette l'azione, che, movendo dal circuito primario viene ad eccitare il risonatore. Il resultato della ricerca si riassume dicendo che quell'azione si propaga a punto come la luce ed il calore raggiante.

Comincerò constatando quest'analogia in una prima esperienza.

Ho collocato uno in faccia a l'altro, a quattro metri di distanza, due specchii sferici, concavi, uguali, di rame polito; avranno a un di presso un'apertura di cinquanta

centimetri. Nel piano focale del primo di questi specchii, vale a dire in quel piano, che è normale, nel punto di mezzo, a la congiungente del vertice della calotta con il centro della sfera, da la quale lo specchio è tagliato, fisso una candela e l'accendo. I raggi di luce, che la fiamma emette, cadono su la superficie riflettente, e vengono rimandati nella direzione dell'asse. Incontrano poi il secondo specchio, e per l'azione di questo vanno a riunirsi di nuovo nel suo piano focale. In fatti, se porto in tale piano uno schermo traslucido, di tela sottile, vi si delinea con sufficiente nettezza l'imagine della fiamma.

Quello, che ho detto della luce, posso ripetere per il calore raggiante, ed è facile persuadersene con un'esperienza diretta. Al posto della candela pongo ora un cestello di rete metallica con alcuni carboni accesi. E nel piano, dove prima mettevo lo schermo, voglio fissare adesso un'asta, che sostiene un bioccolo di cotone fulminante. Ho annerito il pirossilo, impregnandolo di polvere di carbone, perchè le superfici nere assorbono in maggior misura che le bianche il calore raggiante L'effetto non si fa aspettare a lungo; dopo pochi istanti il cotone fulminante si infiamma. Il calore si riflette dunque, e si concentra nei fochi degli specchii concavi come la luce.

E bene, qualche cosa di molto simile avviene anche per l'azione, che l'eccitatore del Hertz esercita sopra il risonatore. Noi possiamo in realtà riflettere quest'azione, e concentrarla nei fochi di specchii cavi opportunamente scelti. Vedono, davanti a Loro, due di questi specchii. Hanno la forma di cilindri parabolici (fig. 59) (*); e sono fatti di lastre di zinco. Hanno una distanza focale di dodici

(*) La figura 59 rappresenta uno dei riflettori, già disposto per un'esperienza, che sarà descritta più avanti (cfr. la lezione tredicesima), munito cioè di un asse orizzontale.

Si confronti, per avere un'idea dell'apparecchio, quale viene impiegato quì, la figura 79.

centimetri circa; sono alti un metro; la loro apertura è anche prossimamente di un metro.

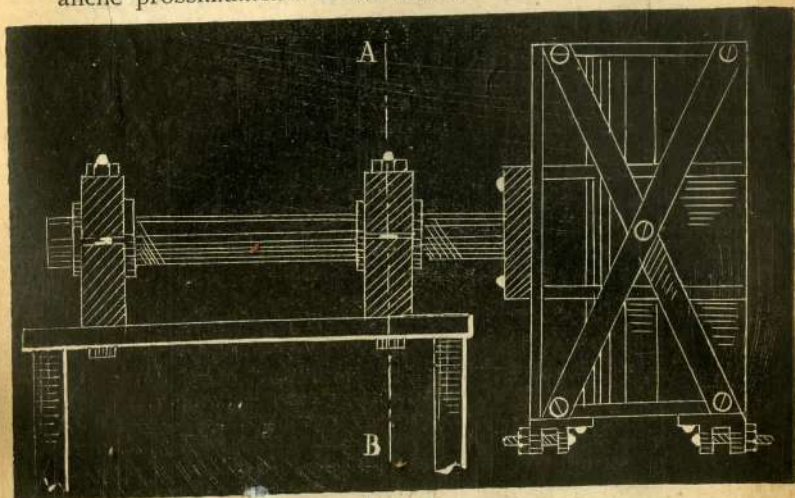
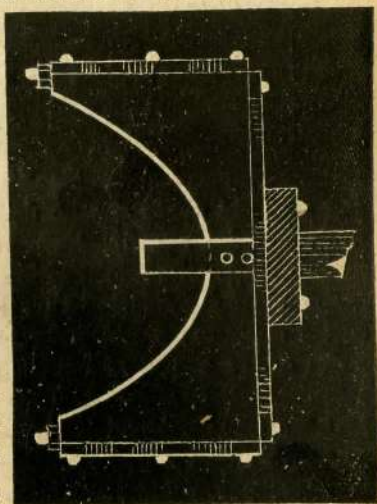



Fig. 59.

Le lastre di zinco sono tenute a posto, in ciascun specchio, da quattro tavole di legno d'abete ben secco, nelle quali si sono intagliate quattro parabole uguali (fig. 60). Queste tavole poi sono congiunte rigidamente con certe traverse, anch' esse di legno d'abete. Gli specchii sono ancora forniti di gambe, fermate a vite, alte cinquanta centimetri.

Fig. 60.

In una delle linee focali è collocato l'eccitatore, che ho descritto lungamente dianzi; nell'altra è posto, in vece, il risonatore. I fili

che conducono al rocchetto nel primo caso, e quelli che portano a l'intervallo di scarica nel secondo, traversano lo specchio ed escono dietro di esso a l' aperto.

§ 5. — Colloco i due specchii di fronte, a sei metri di distanza, e munisco il risonatore dell' elettroscopio e

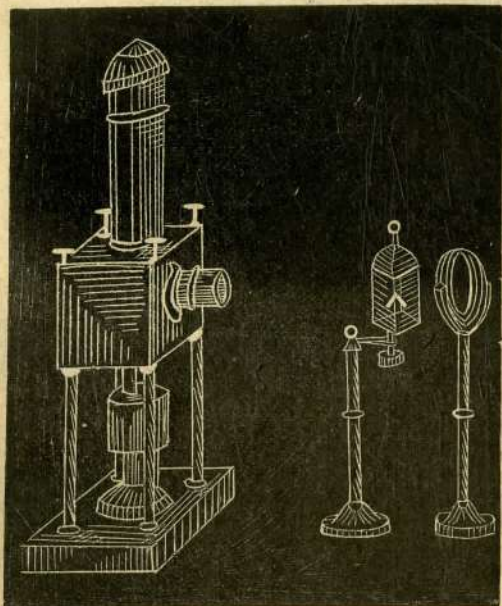



Fig. 61.

della pila, nel modo che ho detto. Proietto l'elettroscopio con la lanterna (fig. 61). La sua imagine si produce su lo schermo, capovolta; le paglie divergono ora fortemente. Avvicino nel secondario la punta a la pallina finchè siano quasi a contatto; e nel primario lascio un intervallo di scarica di tre o quattro millimetri. E faccio agire il rocchetto.

Le pagliuzze dell'elettroscopio cadono istantaneamente una sopra l'altra e non si staccano più. Vuol dire che al risonatore passa una serie ininterrotta di scintille.

Fermando il rocchetto, naturalmente, le paglie tornano a divergere.

Se i due circuiti non fossero muniti di specchii non si avrebbero scintille nel secondario, tenendolo a più di un metro dal conduttore primario.

L'azione dei nostri cilindri parabolici è dunque chiara e simile in tutto a quella degli specchii sferici, per il caso della luce e del calore.

In base a quest' ultima esperienza si può considerare come dimostrato, almeno in via indiretta, che l'induzione, esercitata dal primo sul secondo circuito, si riflette su le lastre di zinco, regolarmente, cioè facendo l'angolo di riflessione uguale a quello di incidenza. Del resto avremo occasione di verificare tutto ciò direttamente.

Per ora, mentre gli specchi stanno così affacciati, voglio indicare alcune proprietà, a le quali dà luogo il propagarsi dell'induzione.

Faccio agire il rocchetto e le paglie dell' elettroscopio si riuniscono, come prima. Quindi mi pongo fra i due specchi e riparo con il mio corpo il risonatore; immediatamente le paglie si staccano e divergono, indicando che la serie delle scintille, al secondario, è interrotta. Se mi tolgo di mezzo, come è facile prevedere, le scariche ricominciano, e, ancora una volta, le paglie dell' elettroscopio cadono una su l'altra.

Lo stesso effetto otterrei interponendo fra i due conduttori una lamina di zinco o di qualunque altro metallo.

In vece una tavola di legno, o una lastra di ebanite, sono perfettamente trasparenti.

Questi fatti, che ho indicato ora, si presentano, in una certa misura, anche nello studio della luce e del calore. E di vero si sa che la maggior parte delle sostanze diafane sono cattive conduttrici, il vetro per esempio e il quarzo e le pietre preziose. Parimenti i corpi meglio diatermani, come il salgemma e lo spato d'Islanda, sono dielettrici.

D'altra parte i metalli, anche in strati molto sottili, sono opachi per la radiazione luminosa e per la termica. Doventano trasparenti solo quando siano estremamente poco spessi ma allora lasciano passare anche l'induzione, della quale ci occupiamo (21).

La cosa si dimostra con tutta facilità, ricorrendo ad un semplice artifizio.

Quando occorre di adoperare delle lamine metalliche molto sottili si usa deporre, chimicamente, un velo d'argento sopra una lastra di vetro. Con un po' di pratica si riesce ad ottenere, in ogni caso, quello spessore, che si desidera.

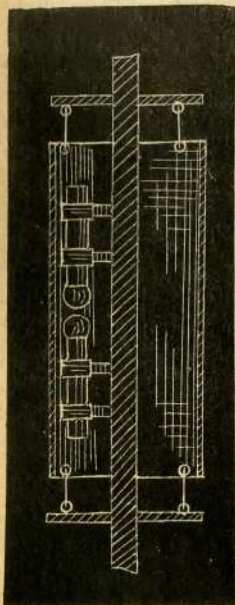
Però è sempre assai difficile di precipitare degli strati di grande superficie, con qualche regolarità. E nel nostro caso sarebbe pur necessario di avere una lastra assai grande.

Fig. 62.

Si può girare l'ostacolo impiegando, in luogo di uno schermo piano, un manicotto, cioè un tubo cilindrico, argentato, che ravvolga completamente l'eccitatore.

Io mi valgo a punto di questo espediente. Il velo d'argento, che adopero, è tanto sottile da non essere ancora opaco per la luce; mostra per trasparenza un bel colore azzurro cupo.

Sospendo questo manicotto intorno al primario (fig. 62), e faccio agire il rocchetto. Come appare, l'azione si trasmette liberamente dal primo al secondo circuito, a traverso a lo strato metallico, diafano per i raggi luminosi.

Notino però, a questo proposito, che certi corpi, i quali, come l'acqua e le soluzioni saline, non impediscono notevolmente il passaggio della luce, esercitano, in vece,

un forte assorbimento su l'azione, che muove dal primario al secondario.

Avremo occasione in seguito di spiegare tali anomalie e di riconoscere come esse non diminuiscano per nulla la somiglianza, che passa fra la luce ed il calor raggiante, da un lato, e l'induzione, che studiamo presentemente, da l'altro (*).

§ 6. — Intanto pongano mente ad una conseguenza, che si può tirare subito da le nostre ultime esperienze. Perchè il corpo umano od ogni altro conduttore interrompa l'effetto che l'eccitatore produce nel risonatore, è necessario che venga interposto su la retta, che congiunge il primo con il secondo circuito. E' quanto dire che questa particolare azione procede rettilineamente.

Impiegando quì una parola, che si adopera nello studio della luce e del calore, e che si giustifica nello stesso modo, si potrà dunque parlare di raggi d'induzione o, come diceva il Hertz, di *raggi di forza elettrica.*

Che questi raggi si propaghino in linea retta si può anche mostrare altrimenti. Per esempio ogni effetto del primario sul secondario cessa, se uno degli specchii si fa girare intorno a la sua linea focale di un certo angolo, o si sposta alquanto lateralmente.

§ 7. — Ho detto che l'azione prodotta da gli specchii sferici su i raggi luminosi e termici e quella, che gli specchii parabolici esercitano su i raggi di forza elettrica, costituiscono una prova indiretta del fatto che quelle radiazioni si riflettono regolarmente secondo la legge ben nota. Vediamo ora di dare di questo delle dimostrazioni più semplici.

Quanto al caso della luce non mi sembra necessario di spendere parole. In realtà verifichiamo la legge della riflessione tutte le volte che ci guardiamo in uno specchio.

In vece mi fermerò un momento a provare che il calore viene rimandato nello stesso modo che la luce, da le superfici piane. Gli apparecchii, che servono per l'esperienza,

(*) Si confronti la lezione decima.

sono essenzialmente una pila termo-elettrica ed un galvanometro. Una lastra d'argento polita mi serve da specchio ed una spirale di platino, che rendo incandescente con un becco Bunsen, a fiamma oscura, sarà la mia sorgente termica. Non sto a descrivere minutamente la pila termoelettrica; ne ho indicato a suo tempo il principio, e i particolari della costruzione li possono trovare in qualunque trattato. Ricordo soltanto che, se del calore raggiante viene a cadere su la faccia annerita e scoperta della pila, si produce una forza elettromotrice; quindi una corrente, che traversa il galvanometro.

Questo è un semplice apparecchio del Nobili a sistema astatico; ho aggiunto a l'ago superiore due bandierine di carta, perchè i movimenti ne siano meglio visibili a distanza.

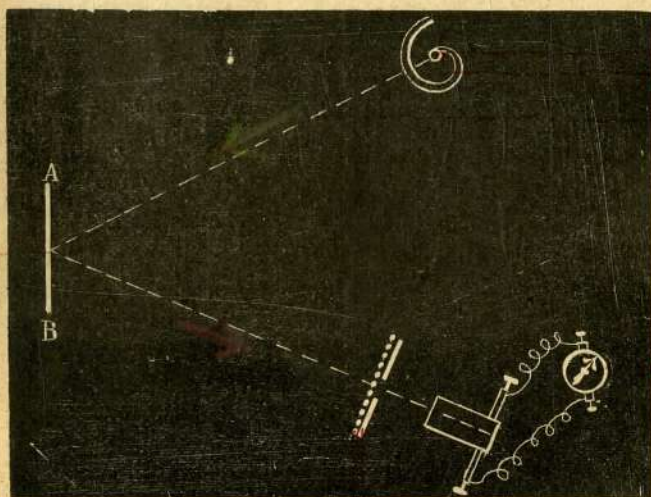



Fig. 63.

Pongo la spirale di platino davanti a lo specchio *A B* (fig. 63), ma un po' di fianco; quindi colloco uno schermo, con un foro tondo, normalmente a la direzione, nella quale presumo che i raggi debbano venire riflessi.

Adatto l'occhio al foro e sposto un pochino lo schermo, finchè mi sia possibile vedere nello specchio l'imagine della spirale. Poi davanti a questo primo schermo ne metto un secondo, completamente opaco; ed affaccio la pila al foro, dove prima avevo l'occhio. Accendo il becco Bunsen e quando il filo di platino ha raggiunto l'incandescenza tolgo via lo schermo opaco. Subito l'ago del galvanometro riceve un impulso violento, indicando così che una corrente intensa traversa l'apparecchio.

Vuol dire che la radiazione termica viene a punto dove arrivava anche la luminosa, cioè si riflette con la stessa legge.

La medesima esperienza posso ripetere con i raggi di forza elettrica. Mentre mi occupavo con Loro della riflessione del calor raggiante, i due specchii del Hertz sono stati spostati da i miei aiuti, e disposti uno a canto a l'altro, con i piani assiali ad angolo retto. L'elettroscopio è sempre proiettato su lo schermo e, come è naturale, le sue paglie sono divergenti.

Faccio lavorare il rocchetto e nulla si cambia. Questo lo potevamo prevedere: il raggio emesso dal primario se ne va secondo il piano assiale del suo specchio; e non entra nemmeno nello specchio del risonatore. Lascio che il rocchetto continui ad agire ed a quarantacinque gradi su la direzione del raggio pongo una grossa lastra di zinco; è un rettangolo di un metro per uno e mezzo. Subito le due paglie si riuniscono, indicando che vi è stata riflessione. E questa è regolare, perchè, se faccio girare un poco la lastra, le scintilline nel risonatore cessano; e l'elettroscopio torna a caricarsi.

Quello, che fa la lastra di zinco, fa anche il corpo dell'uomo. Sicchè posso ripetere l'ultima esperienza, ponendomi con uno degli aiuti nel luogo, dove collocavo lo specchio piano.

Del resto non è nemmeno necessario, perchè riflessione si abbia, che la superficie riflettente limiti un corpo

conduttore. Solamente, se la sostanza dello specchio è dielettrica, bisogna che la lastra sia alquanto spessa. E questo in pratica riuscirebbe poco comodo.

§ 8. — Quando la luce e il calore raggiante traversano la superficie, che separa due mezzi diversi, deviano, in generale, da la loro direzione primitiva di propagazione. E' un fenomeno, che si pone in chiaro, particolarmente, con l'uso del prisma.

Ora il Hertz ha trovato che lo stesso fatto si presenta anche per i raggi di forza elettrica. I quali dunque si devono propagare con velocità finita, come la luce e il calore. Egli impiegava per le sue ricerche un grosso prisma di asfalto. Non ho modo presentemente di ripetere questa esperienza, d'altronde della rifrazione dei raggi elettromagnetici avremo campo di discorrere, con maggiore profitto, un'altra volta. Per ora mi basta di aver accennato che, anche per questo rispetto, sussiste un'analogia completa fra le tre radiazioni delle quali ci occupiamo.

§ 9. — Riassumendo: ho fatto vedere Loro che i circuiti percorsi da correnti periodiche danno luogo a fenomeni di risonanza, analoghi a quelli che si studiano in altre parti della fisica, e più specialmente in acustica. E ho mostrato inoltre come si possano ottenere dei raggi di forza elettrica, che si propagano in linea retta, e si riflettono regolarmente, a punto come la luce e il calore raggiante.

LEZIONE NONA.

Fenomeni di interferenza — Onde stazionarie — Esperienze del Fresnel e di Klemenczicz e Czermak-Colori delle lamine sottili.

§ 1. — Delle nostre correnti oscillanti sappiamo già che esse sono periodiche e pendolari, è naturale pensare che lo stesso avvenga di quel fenomeno, la cui propagazione dà origine a i raggi di forza elettrica. In fatti un tale fenomeno nasce da un circuito percorso da scariche alternative, ed è capace di eccitarne in ogni altro circuito, opportunamente costituito.

Ad ogni modo si possono dare di questo delle prove dirette. Ed è particolarmente interessante osservare che alcune fra le esperienze, che si fanno a tal'uopo, sono molto simili a quelle, onde s'era dedotto, al principio del nostro secolo, la periodicità della perturbazione luminosa.

Esaminiamo queste prove un po' da vicino, cominciando da lo studio della luce.

Anzi tutto si può produrre con un raggio luminoso un'onda stazionaria, costituita a l'in circa, come quella, che vedemmo potersi ottenere con le correnti oscillanti, guidate da i fili metallici. Solamente le difficoltà sperimentali sono quì molto maggiori, sicchè non sarebbe possibile dimostrare la cosa nella scuola. Mi limito a darne un cenno.

Si fa cadere un raggio di luce sopra uno specchio; e,

per evitare la moltiplicità delle riflessioni, si impiega a questo scopo la superficie libera di una massa di mercurio. Il raggio riflesso sopraponendosi al diretto, produce al solito l'onda stazionaria. Vi è dunque, parallelamente a la superficie del metallo, una serie di piani nodali e di piani ventrali. La presenza di questi si riconosce con una pellicola sensibile.

Vi è però un inconveniente assai grave. Nel caso della luce i ventri ed i nodi si susseguono a così piccola distanza che, ove la pellicola fosse normale a la superficie del mercurio, i tratti impressionati non si potrebbero distinguere da quelli, che non lo sono. Bisogna ricorrere ad un artifizio, e collocare la pellicola in un piano, che faccia un angolo piccolissimo con quello dello specchio.

In questo modo lo strato sensibile incontra solo alcuni piani nodali e ventrali; e li taglia secondo una serie di rette parallele, abbastanza discoste le une da le altre. Le quali rette appariranno nella negativa come una successione di strie alternativamente chiare ed oscure.

Queste ricerche, che, come ho detto, sono assai delicate, si debbono al Wiener (22. Egli constatò che su la superficie dello specchio vi ha un nodo dell'azione fotografica.

Con i raggi di forza elettrica è facile ottenere l'onda stazionaria (23). Per fare l'esperimento impiego la solita coppia di circuiti. Il primario è munito del suo riflettore, nel modo consueto; in vece ho tolto il risonatore da lo specchio secondario e l'ho adattato ad un sostegno. Sta ora davanti al primo circuito a un paio di metri di distanza. L'altezza è la solita, vale a dire i due intervalli di scarica sono sopra una medesima linea orizzontale. Solamente i fili, che portano a la punta e a la pallina, vanno adesso da la parte dell'eccitatore.

Per produrre l'onda stazionaria è necessario riflettere, in qualche modo, il raggio di forza elettrica.

Impiego a l'uopo, una lastra quadrata di zinco, di un

metro e mezzo di lato. È sospesa ad un asta di legno che

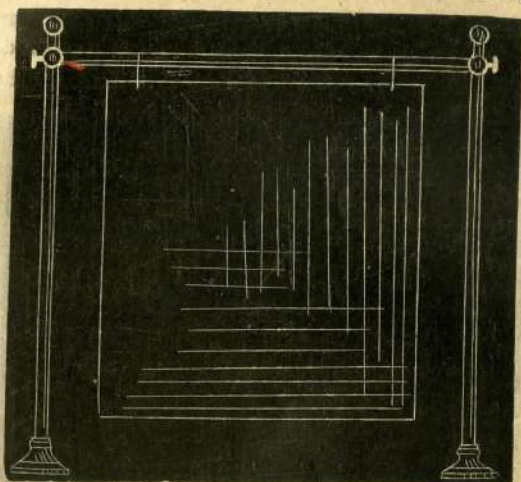



Fig. 64.

può scorrere su certe traverse, portate da quattro sostegni (fig. 64 e 65) (*). La lastra è normale a la direzione in cui si propaga il raggio; sta dietro al risonatore, vale a dire da la parte di esso, che è opposta a quella dove si trova il primario. Posso muovere questo mio specchio piano così da portarlo a toccare quasi il risonatore, e lo posso ritirare indietro per lo spazio di un metro circa. L'esperienza consisterà a punto nel far vedere che, quando si muove lo specchio, il risonatore pas-

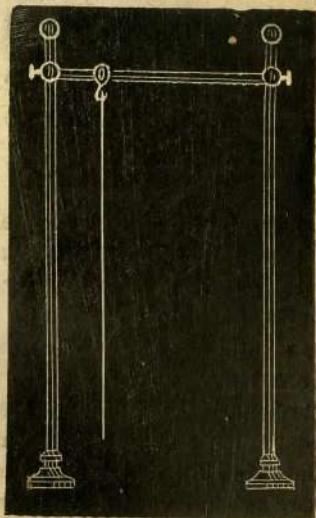



Fig. 65.

(*) Le figure 64 e 65 mostrano lo specchio di fronte e di fianco.

sa, alternativamente, per una serie di nodi e di ventri. La disposizione somiglia dunque a quella dell' esperienza del v. Bezold, piuttosto che a quella dell' esperienza del Lecher. Per ora voglio fissare la lastra a dodici centimetri

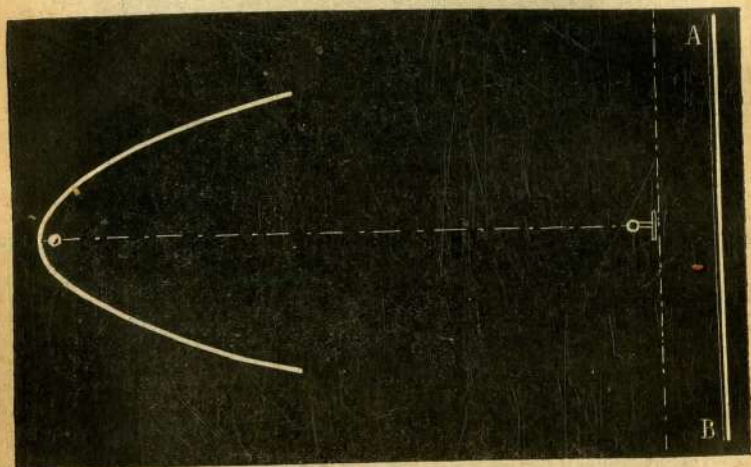



Fig. 66.

dal secondo circuito (*A B*, fig. 66). Come sempre collego quest' ultimo con la pila e l' elettroscopio, che proietto su lo schermo.

Se faccio agire il rocchetto le foglie si riuniscono immediatamente, indicando che adesso il risonatore viene eccitato. Muovo la grande lastra di zinco e l'accosto al secondario. Quando sono giunto a pochi centimetri da questo le scintilline cessano; e difatti le foglie tornano a divergere. Ne segue che, a canto a la superficie riflettente, l'onda stazionaria ha un nodo. Quindi le cose non vanno adesso esattamente come per il caso delle correnti oscillanti, guidate da i fili metallici. Allora il punto estremo del conduttore era un ventre. Tali onde dunque erano paragonabili a quelle delle canne aperte, queste altre che stiamo studiando, assomigliano, in vece, a quelle delle canne chiuse.

Proviamoci ora a ritirare la lastra. Le scariche, naturalmente, tornano a passare e le foglie a riunirsi. Continuando nel movimento non si ha, per un poco, nessuna indicazione da l'elettroscopio; in realtà il risonatore attraversa un ventre e le scintilline sono assai vivaci. Ma procedendo sempre si finisce per arrivare ad un secondo nodo; sicchè le paglie divergono.

Così la periodicità dei raggi di forza elettrica rimane stabilita.

§ 2. — La stessa cosa si può verificare anche per altra strada che non sia quella della produzione delle onde stazionarie. Intendo parlare dei fenomeni detti di *interferenza*, i quali risultano dal sopraporsi di due moti ondulatorii, propagantisi in direzioni poco differenti.

Non è difficile intendere quale debba essere l'aspetto generale di questi fenomeni. Per rendercene conto imaginiamo di avere in due punti A e B, che segno sopra la lavagna (fig. 67), due centri da i quali partono e si propagano, tutto a l'intorno, nel piano della figura, con velocità finita, uniforme, delle perturbazioni periodiche. E supponiamo, per semplificare le cose, che i due sistemi A e B comincino ad oscillare nello stesso istante, ed abbiano il medesimo periodo. Se in un punto ad arbitrio del piano

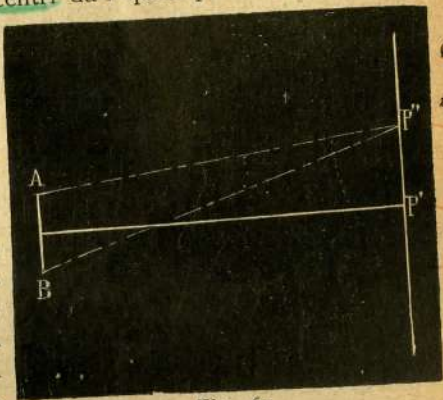



Fig. 67.

è posto un terzo sistema, suscettibile di eccitarsi per effetto delle perturbazioni, che partono da quei due centri, dopo un certo tempo esso pure oscillerà. Supponiamo, in primo luogo, che il terzo sistema disti ugualmente da A

e da B, come sarebbe il caso del punto P' della figura. E' chiaro che in ogni istante giungono in P' degli impulsi, i quali sono partiti da A e da B contemporaneamente, vale a dire degli impulsi, che tendono a produrre la stessa modificazione. Quindi gli effetti dovuti a i due eccitatori si sommeranno.

Portiamo adesso il risonatore in un altro punto P''. E scegliamo questo P'' in modo che le lunghezze BP'' ed AP'' differiscano fra loro di un tratto uguale a quello, di cui si propagano le perturbazioni, in un intervallo di mezzo periodo. Gli impulsi, che giungono ora al risonatore, da A e da B, in un certo istante, non sono più partiti insieme; ma anzi ad una tale distanza che tendono a produrre effetti esattamente opposti. Quindi, ove le due sorgenti siano ugualmente *intense*, in P'' non si potrà avere alcuna azione sul risonatore.

Che se la differenza dei due cammini BP'' ed AP'' si facesse ancora più grande, fino a raggiungere quella lunghezza, che le perturbazioni percorrono nel tempo di un periodo intero, quella cioè, che si suol chiamare la lunghezza d'onda (*), di nuovo le due sorgenti produrrebbero degli effetti cooperanti.

E così di seguito.

E' evidente che potremmo condurre le esperienze anche in modo diverso. E cioè potremmo tenere fermo il risonatore nella posizione P' e muovere, in vece, una delle sorgenti, per esempio la B. Se gli spostamenti si facessero lungo la congiungente $P'B$, è chiaro che si avrebbe in P' un minimo, quando B si fosse spostato di una mezza lunghezza d'onda; quindi un massimo, quando il tratto percorso giungesse ad un'onda intera; e così via.

Tali sono, in realtà, i due procedimenti, che si possono impiegare per lo studio del modo, con che è distribuito un fenomeno nello spazio. Nel primo caso si fa muo-

(*) Si confronti in proposito la lezione sesta.

(effetto massimo)
Il risonatore nel punto P' riceve la somma dei due effetti cooperanti
nel punto P'' rimane senza effetto (effetto nullo)

vere il punto d'osservazione, nel secondo si lascia questo punto in riposo e si fa spostare il fenomeno.

In pratica, trattandosi della luce e dei raggi di forza elettrica, non è possibile avere due sorgenti, che soddisfino a tutte le condizioni, che abbiamo supposto verificate per la coppia AB. Bisogna quindi girare la difficoltà con qualche artifizio.

Uno di questi consiste nell'impiego di una sola sorgente, la cui azione si fa riflettere da due specchii. Le imagini *virtuali* di quell'unico eccitatore rappresentano i sistemi, da i quali partono le perturbazioni, che debbono interferire.

Si intende come si potranno realizzare i due modi di procedere, dei quali si è fatto parola. In un caso resteranno fermi gli specchii, e varierà il punto, nel quale l'interferenza si osserva; nell'altro starà immobile il secondario, e si faranno subire degli spostamenti ad uno dei riflettori. Ora la prima di queste disposizioni, serve particolarmente bene per l'esame delle interferenze della luce; e la seconda è opportuna per lo studio dei raggi di forza elettrica.

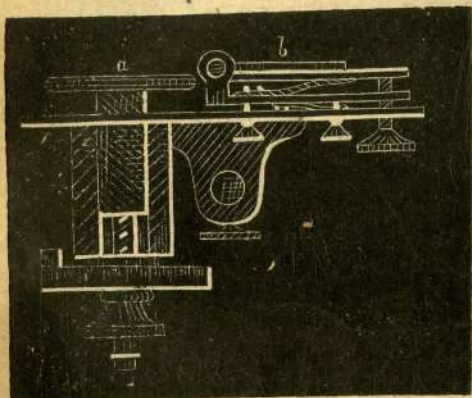
Ho disposto quì gli apparecchii necessarii per realizzare l'una e l'altra esperienza.

Cominciamo da le interferenze luminose. Disgraziatamente, con i mezzi dei quali dispongo, non è possibile proiettare questi fenomeni, che riuscirebbero troppo poco intensi; ognuno di Loro dovrà quindi vedere, a la sua volta, di che si tratta.

La lanterna di proiezione mi serve come sorgente luminosa. Davanti ad essa ho collocato un pezzo di vetro rosso; poi una fenditura sottile verticale; quindi una lente cilindrica pure verticale. Dopo di questa vengono gli specchii (*a. b*, fig. 68) destinati a produrre la coppia dei raggi *interferenti*. Sono due pezzetti di vetro nero, pochissimo inclinati uno su l'altro; si incontrano secondo uno spigolo parallelo a la fenditura. L'incidenza della luce su gli specchi è quasi radente. E' chiaro che le sorgenti sono ora due rette rosse, brillanti, verticali. Da ultimo vi è un oculare,

una lente biconvessa, adattando l'occhio a la quale vien fatto d' osservare il fenómeno di interferenza, che si produce in un certo piano normale a la direzione, secondo che si propagava da prima la luce.

Fig. 68.

Questo fenomeno consiste in una successione di linee verticali, alternativamente rosse e nere. Si hanno delle linee, in vece che dei punti, perchè è evidente che non mutano per nulla le condizioni dell' interferenza quando ci si sposta sopra una retta parallela a la fenditura.

Se al vetro rosso ne sostituisco uno azzurro ottengo ancora una successione di strie chiare ed oscure; ma queste strie sono assai più fitte di quelle, che si osservano in luce rossa. E' facile vedere come questo si spieghi. Basta ammettere in fatti che le onde dei raggi azzurri sono alquanto più brevi di quelle dei raggi rossi.

Se poi tolgo via ogni vetro colorato, il carattere generale del fenomeno non cambia. Solamente si hanno delle frangie iridate. Questo dipende da ció che, come si ricava dal fatto della dispersione, la luce bianca si può ammettere che risulti da la sopraposizione di molti raggi, per i quali sono diverse le condizioni di interferenza. Lungo certe linee il rosso, per esempio, è spento, mentre l'azzurro rimane tuttavia visibile; e così di seguito.

Quest'esperienza, che ho fatto ora in diversi modi, è nota sotto il nome di esperienza degli specchii del Fresnel.

Si capisce come segua da essa un metodo per misu-

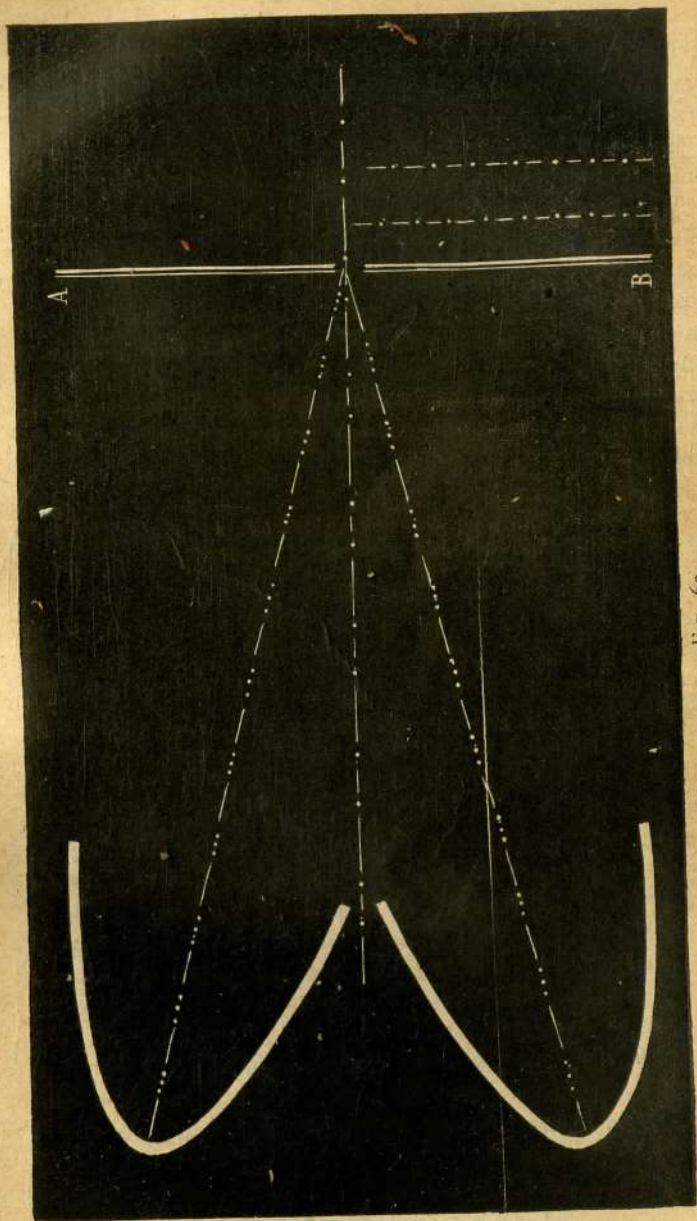



Fig. 69.

rare la lunghezza delle onde luminose. Non mi fermo sopra un tale argomento. Dirò soltanto che le lunghezze in discorso risultano estremamente tenui; sono comprese, per i colori dello spettro visibile, fra sette e quattro decimillesimi di millimetro.

Vengo a l'esame dei raggi di forza elettrica.

Il risonatore è stato rimesso nel suo specchio; e questo poniamo ora a canto a lo specchio primario (fig. 69). Si procura che i due piani assiali siano inclinati uno su l'altro, in modo che si vengano a tagliare a tre metri circa da le superfici riflettenti. Quindi, dove i piani assiali si incontrano, normalmente al bissettore del loro diedro, si collocano due lastre quadrate di zinco, aventi entrambe un metro di lato. Queste lastre le avviciniamo in modo da formare un unico specchio piano (*A B*, fig. 69).

Come vedono sono sospese, una indipendentemente da l'altra, a punto come quella grande lamina di zinco, che ci ha servito dianzi per la produzione dell'onda stazionaria.

Se faccio scoccare delle scintille fra le palline del primario, l'elettroscopio unito al risonatore, scaricandosi, fa vedere che il secondo circuito viene eccitato. La cosa è ovvia perchè si intende bene che il raggio di forza elettrica deve subire una riflessione sopra lo specchio piano.

Lascio che il rocchetto agisca sempre e, poco a poco, faccio che una delle lastre si sposti, parallelamente a sè stessa, ritirandola indietro di una dozzina di centimetri. Le paglie dell'elettroscopio si aprono, vale a dire l'azione del primario si riduce a zero. Gli specchii piani sono adesso due, distinti. Entrambi rimandano al risonatore il raggio di forza elettrica; ma il cammino necessario per andare dal primo al secondo circuito, toccando una delle lastre, è diverso nei due casi. Il nostro resultato mostra che la differenza è vicina a la mezza lunghezza d'onda (*).

(*) Questo esperimento è dovuto a i fisici Klemenczicz e Czermak (24).

Facendo le misure con tutta l'esattezza possibile, si verrebbe a constatare nel caso presente un'onda di cinquantun centimetri. In questo vi è dunque una certa differenza fra i raggi di forza elettrica e quelli luminosi; e propriamente le onde dei primi sono assai più lunghe di quelle della luce.

Se continuassi a far retrocedere lo specchio mobile, fino a spostarlo di altrettanto, il risonatore tornerebbe, naturalmente, ad agire; perchè la differenza di cammino fra i raggi interferenti raggiungerebbe la lunghezza dell' onda. Poi si avrebbe un secondo minimo e così via.

Ho detto un momento fa che la lunghezza di cinquantun centimetri per l'onda si determinava *nelle condizioni della nostra esperienza*. Intendevo che, se si modificasse il risonatore, prendendolo più grande o più piccolo, o d' altra forma, si troverebbe, in generale, per quella lunghezza un valore diverso. In vece questa costante non dipende da l' eccitatore. Posso cambiare di molto le dimensioni e la struttura del conduttore primario, senza che per ciò l'onda risulti alterata. Naturalmente il fenomeno della risonanza, che avemmo già occasione di studiare, impone certi limiti, al di là dei quali il secondario non è più eccitato sensibilmente. Entro questi limiti, come osservavo, si può scegliere l'eccitatore ad arbitrio.

§ 3. — Poi che ho pronti gli apparecchii, voglio ancora mostrare Loro un'esperienza, relativa a l'interferenza della luce.

Quelli che hanno osservato il fenomeno, prodotto da i due specchii del Fresnel, avranno notato che al centro di esso vi è una riga, brillante in luce monocromatica e bianca in luce bianca. Questa deriva da la sopraposizione di due raggi, che hanno percorso esattamente lo stesso cammino. Fra essa e ciascuna delle due sorgenti virtuali vi è, in altre parole, lo stesso numero di onde. E' evidente che se, in qualche modo, in uno solo dei due raggi, alcune onde si potessero scorciare, il luogo in cui arrivano insieme gli

impulsi partiti insieme, riuscirebbe alquanto spostato. Ora vi è un modo per abbreviare le onde della luce, e consiste nel farle passare in un mezzo, che abbia un indice di rifrazione più grande di quello dell'aria. La differenza dell'indice di rifrazione importa la differenza della velocità e quindi la differenza dell'onda. Perchè evidentemente un raggio (monocromatico) non può cambiare di colore, cioè di periodo, quando passa da un mezzo ad un altro. Vuol dire che, se uno dei due raggi, che debbono interferire, si farà passare a traverso ad una laminetta sottile, di vetro per esempio, o di mica, la riga centrale del fenomeno di interferenza si sposterà lateralmente. E si muoveranno con essa tutte le altre. Perchè è chiaro che si può dire di ciascuna di queste quanto si disse di quella prima. Tutto il fenomeno apparirà dunque trasportato di un certo tratto.

In pratica, perchè si possa realizzare una tale esperienza, è necessario che i due raggi interferenti si tengano alquanto discosti, affinchè si possa sicuramente agire sopra uno di essi, senza disturbare la propagazione dell'altro. La cosa non è punto difficile da ottenere. Basta porre dietro gli specchii del Fresnel una buona lente convergente acromatica (25). Quella, che impiegheremo oggi, ha una distanza focale di quaranta centimetri circa. Essa fornisce due imagini reali della linea focale della lente cilindrica, la quale è propriamente la nostra sorgente luminosa. Raccolgo sopra uno schermo le imagini in discorso; vi appariscono come due piccole lineette parallele, brillanti e assai vicine. Possiamo imaginare che i raggi, la cui sopraposizione deve dar luogo al fenomeno d'interferenza, partano di quì. Ed ora è facile, coprendo una delle lineette brillanti, trattenere uno dei due raggi, o fargli attraversare quel mezzo, che si vuole.

Per vedere l'interferenza si potrebbe impiegare come prima un semplice oculare; ma bisognerebbe portarlo ad una certa distanza, sicchè l'osservazione non riuscirebbe comoda. Preferisco adoperare un cannocchiale, di quelli

che servono in laboratorio per varie esperienze, e che, potendosi allungare di molto, permettono d'osservare degli oggetti relativamente vicini.

Colloco questo cannocchiale a due metri circa da le sorgenti luminose. Poi, con una laminetta sottile di vetro, tenuta da un sostegno, copro una delle linee brillanti.

Nel campo del cannocchiale si vede ora il fenomeno di interferenza, affatto simile a quello, che si osservava prima con l'oculare. Un filo micrometrico permette di fissare la posizione di una delle righe, per esempio della centrale luminosa.

Ciò posto, se tolgo via la lamina di vetro, l'osservatore vede nettamente tutto il sistema delle righe muoversi e trasportarsi di un certo tratto rispetto al filo del micrometro.

Quest'esperienza ha una certa analogia con quella, che si fece da noi altra volta, con l'apparecchio del Lecher. Immergendo in parte i fili secondarii nel petrolio, i nodi mutavano di luogo. In realtà allora come adesso il medesimo fatto veniva posto in luce, cioè il variare della lunghezza dell'onda con la natura del mezzo, che le perturbazioni traversano. Solamente in un caso si trattava di correnti oscillanti, guidate da fili metallici, nell'altro sono raggi luminosi, che si propagano liberamente.

La disposizione, che abbiamo impiegato dianzi, permette di fare ancora alcune altre esperienze.

Anzi tutto posso ricoprire con uno schermo opaco una delle linee brillanti. Allora il campo del cannocchiale appare illuminato uniformemente. Per vero non si può più produrre interferenza di sorta.

Lo stesso effetto si ottiene se sostituisco il diaframma opaco con una lastra di vetro un po' spessa. Questo si spiega ammettendo che le sorgenti luminose non restino sempre intense ad un modo, ma anzi vadano variando rapidissimamente. Allora due onde partite in tempi alquanto lontani potranno difficilmente soddisfare a tutte le condi-

zioni dell'interferenza. Per esempio, se le onde in quistione producono, dove si incontrano, degli impulsi opposti, e se di questi uno supera l'altro di molto, non ne seguirà per núlla l'oscurità; ma anzi l'impulso più forte resterà a pena alterato.

La lastrina, che mi ha servito poco fa per produrre lo spostamento delle righe di interferenza, era estremamente sottile. Per ottenere queste lamine si soffia una bolla in capo ad una canna, con tanta rapidità da cagionare uno scoppio; allora il vetro, in certi tratti della parete lacerata, si riduce a punto ad uno spessore piccolissimo.

§ 4. — Anche i *colori delle lamine sottili*, quelli che si osservano nelle bolle di sapone e in un'infinità di altri casi, sono ottenuti, in sostanza, con l'impiego di due superfici riflettenti. Solamente quì gli specchi, essendo formati da una materia diafana, possono stare uno dietro a l'altro.

Variando lo spessore dello strato, che li separa, variano naturalmente le condizioni dell'interferenza. In luce monocromatica si osserverebbero dunque, in generale, dei tratti luminosi e dei tratti oscuri. In luce bianca si avranno, in vece, delle apparenze iridate.

Gli apparecchii, che si impiegano di solito per la produzione del fenomeno, risultano di una lente piano-convessa, che appoggia la convessità sopra un vetro nero.

I due specchii in questo caso sono rappresentati da la faccia anteriore del vetro e da quella posteriore della lente.

Siccome quest'ultima tocca la superficie piana solamente nel vertice della calotta, che limita la sua faccia convessa, i punti di un medesimo cerchio, avente in questo vertice il suo centro, si trovano tutti nella stessa condizione. E però il fenomeno di interferenza consiste in una serie di anelli concentrici, alternativamente chiari ed oscuri, o pure iridati *(anelli del Newton)*.

Come dicevo questi colori delle lamine sottili si incontrano spesso, sotto forme svariatissime, nella natura.

Citerò un caso solo, assai elegante. Si tratta delle squame, che ornano le elitre di un coleottero brasiliano, l' *Entimus imperialis* (fig. 70).

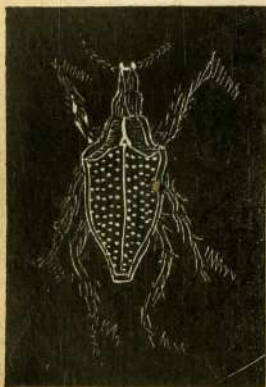



Fig. 70

Queste squame, che non superano in lunghezza un decimo di millimetro, hanno una forma ovata e sono adorne dei più vivaci colori. Ne ho fatto riprodurre alcune, che proietto con la solita lanterna. Esse presentano degli aggruppamenti graziosissimi di tinte molto brillanti; aggruppamenti, che ricordano a punto quelli delle bolle di sapone e degli anelli del Newton. Quì vi è una lamina d'aria molto sottile, racchiusa fra due membrane quasi affatto trasparenti; la parete posteriore della prima membrana e l' anteriore della seconda costituiscono la coppia di specchii (26).

Con i raggi di forza elettrica si possono, naturalmente, osservare dei fatti analoghi a quelli di cui parlo. Però, con gli apparecchii, che adoperiamo presentemente, le esperienze sarebbero assai difficili ed incomode. Le lamine *sottili* si dovrebbero prendere enormemente spesse.

Assai meglio riesce la cosa se, in luogo dell'eccitatore e del risonatore del Hertz, si impiegano certi apparecchii, ideati dal Righi, che avremo occasione di imparare a conoscere (27). Questi apparecchii, notevolmente più piccoli di quelli ordinarii, danno origine ad onde assai corte, sicchè l'esecuzione delle esperienze è agevolata di molto.

Ad ogni modo si tratta sempre di una ricerca di laboratorio, i cui resultati non si prestano ad essere dimostrati nella scuola. Basti in proposito questo cenno.

Voglio poi ricordare di passata che le correnti oscillanti, guidate da i fili metallici, danno luogo anch'esse a fenomeni paragonabili con le apparenze colorate degli anelli

del Newton. Per osservarli è necessario circondare con un dielettrico, differente da l'aria, una porzione del conduttore sul quale scorre la corrente. Questo resultato del resto non ci apprende nulla di nuovo; è naturale che le cose vadano a punto così, dal momento che la perturbazione si muove, seguendo il filo, con velocità diverse nei diversi mezzi (28).

***

§ 5. — I più notevoli fra i resultati, ottenuti oggi da noi, si riassumono dicendo che la luce e il calore e i raggi di forza elettrica sono costituiti da perturbazioni periodiche, che si propagano nello spazio con velocità finita. E' possibile in fatti, nei tre casi, ottenere dei fenomeni di interferenza.

LEZIONE DECIMA.

I risonatori come modelli delle molecole materiali: assorbimento elettivo e colori superficiali — Esperienze di Rubens e Nichols.

§ 1. — Nella lezione precedente si è detto come, studiando con diversi risonatori un fenomeno d'interferenza, prodotto con la radiazione, che nasce da un determinato eccitatore, si riconosca la presenza di raggi di periodo differente. Propriamente le onde, che si vengono a determinare, sono tanto più lunghe quanto più grande è il secondario, che si impiega per la misura. Succede quì un fatto analogo a quello che si incontra, per esempio, nell'acustica, dove le canne da organo più lunghe rispondono a i suoni più bassi. Similmente la durata dell'oscillazione del pendolo cresce con la lunghezza del filo.

Nell'ultima lezione ho anche provato che i diversi colori della luce corrispondono a differenti periodi della perturbazione, che si propaga nel raggio. Di più facevo vedere che la luce bianca genera delle interferenze iridate.

Vuol dire che un conduttore primario, come quello, che abbiamo imparato a conoscere, emette una radiazione, la quale è paragonabile, da un certo punto di vista, con la radiazione, che parte dal sole e da qualunque corpo, solido o liquido, incandescente.

In realtà nel primo, come nel secondo caso, coesistono molte onde di lunghezze differenti.

Impiegando due parole dell'uso comune in un significato un po' diverso da l'ordinario, si potrebbe dire che i raggi elettromagnetici prodotti dal nostro eccitatore sono *bianchi*, o, per lo meno, che essi non sono *monocromatici*.

Si badi però che il fatto della risonanza (in senso ristretto), che avemmo già occasione di studiare, il fatto cioè che un determinato primario eccita in maggior misura un secondario di dimensioni definite, dimostra che vi è sempre, nella radiazione emessa da l'eccitatore del Hertz, un *colore* particolarmente intenso.

A l'in fuori dei fenomeni di interferenza ve ne sono degli altri, assai più facili da osservare, che valgono anch'essi a porre in risalto la differente natura delle luci di diverso colore. Intendo dire di tutti quei fenomeni luminosi, nei quali entra in giuoco la costituzione molecolare della materia.

Qualunque sia l'ipotesi, che si vuole adottare, su la natura della luce, si deve pure concedere, come una conseguenza dell'analisi spettrale, che l'emissione dei raggi luminosi è legata intimamente con le proprietà della molecola, che quei raggi emette.

Si sa in fatti che un determinato corpo, vale a dire un sistema di molecole, costituito in un certo modo, quando sia posto in condizioni opportune, manda fuori alcuni raggi di colore ben definito, e manda solamente quelli.

D'altra parte le diverse sostanze assorbono in modo diverso un medesimo colore. Così, per esempio, se si introduce nella pasta ordinaria del vetro un po' d'ossido di rame, si ottiene un corpo trasparente, ma colorato in rosso; vale a dire, che assorbe ogni raggio a l'in fuori dei rossi. Se si sostituisse a l' ossido di rame un sale di cobalto la tinta del vetro sarebbe turchina, e così via.

Ancora: è un'osservazione molto ovvia che i differenti corpi rimandano in modo differente la luce; illuminati da una medesima sorgente ci offrono in fatti una varietà infinita di colorazioni.

Si può tirare da tutto questo una conseguenza importante. Ed è che il comportamento delle molecole materiali, verso la luce, ha una qualche analogia con il comportamento dei nostri conduttori primarii e secondarii, verso i raggi di forza elettrica.

A quel modo che una data molecola emette a preferenza certi colori particolari, un determinato eccitatore manda con maggiore intensità delle onde di lunghezza ben definita.

A quel modo che le varie sostanze, esposte ad un raggio bianco, si illuminano di colori differenti, vale a dire scelgono fra le altre le onde di dati periodi, i nostri risonatori scelgono pure, nella radiazione dell'eccitatore, alcune onde di lunghezza determinata.

Quest'analogia è ben più intima e completa che non debba parere a prima vista. Per vero noi possiamo imitare con gli apparecchi del Hertz, in tutte le singolarità, la maggior parte dei fenomeni a i quali dà origine la costituzione molecolare dei corpi.

Voglio trattenermi oggi sopra questo argomento.

Ma, prima d'entrare in materia, credo opportuno premettere un'osservazione. Suppongano di aver dimostrato che la somiglianza del comportamento, fra i nostri conduttori e le molecole dei corpi, è perfetta: avremo forse il diritto di concludere che la costituzione di queste ultime è analoga a la costituzione di quelli? evidentemente no.

Come ebbi già l'opportunità di osservare, degli effetti simili si possono produrre con meccanismi molto differenti. Non è lecito dunque ragionare, in quest'ordine di cose, da l'effetto a la causa. Noi potremo dire soltanto che gli eccitatori e i risonatori del Hertz sono buoni *modelli* per le molecole dei corpi; ma non potremo affermare niente di più.

§ 2. — Ed ora veniamo a le esperienze. Scelgo, naturalmente, per fare il confronto, alcuni fatti semplici.

Anzi tutto: è una legge generale, dovuta al Kirchhoff,

e nota a punto sotto il suo nome, che ogni sistema vibrante assorbe di preferenza le perturbazioni, che hanno il suo medesimo periodo.

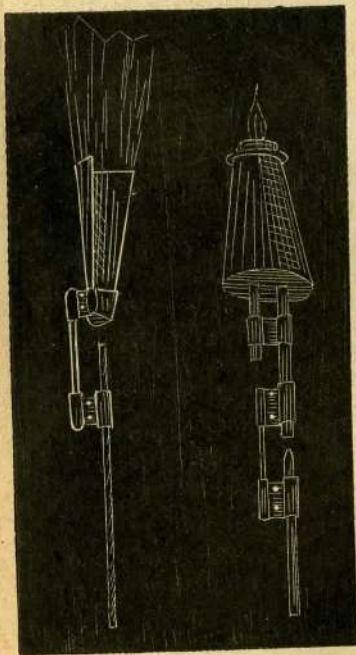
Quando si tratti della luce la cosa si verifica, di solito, impiegando un vapore come corpo assorbente.

Si può usare, con ottimi resultati, il piccolo apparecchio, che ho disposto quì, e che fu ideato dal Bunsen.

Sono due boccie, dentro le quali ho versato dell'acqua acidulata con acido solforico, e della limatura di zinco. Di più ho sciolto ancora in quest'acqua una certa quantità di sal di cucina. L'idrogeno, che si svolge per l'azione dello zinco su l'acido, trasporta con sè molte minute bollicine del liquido salato.

Fig. 71.

Il gasse, che si produce ora nelle bottiglie, non sarebbe sufficiente per intrattenere due fiamme un po' grandi. Supplisco a la deficienza, facendo gorgogliare attraverso il liquido, in entrambe le boccie, del gasse illuminante.

Da una parte e da l'altra il combustibile, per mezzo di un tubo metallico, è condotto a bruciare in un becco di forma particolare. Di questi becchi il primo dà origine ad una fiammella conica, il secondo, in vece, produce una larga fiamma accartocciata in forma di ventaglio (fig. 71). Il flusso del gasse e la quantità dell' aria atmosferica, che si mescola ad esso, prima che arrivi a bruciare, sono regolati

in modo che la piccola fiamma raggiunge una temperatura alquanto inferiore a quella della fiamma grande.

Colloco le due boccie una a canto a l' altra, in modo che la fiamma piccina, stia proprio davanti a quella a ventaglio, e si proietti sopra di essa.

Quelli di Loro, che sono più vicini a me, possono ora osservare un fatto curioso: il tratto della fiamma maggiore, che è coperto da la fiammella conica, apparisce tinto di un colore giallastro fuliginoso, mentre tutto il rimanente brilla di quel giallo caratteristico, che è proprio dei vapori di sali sodici, portati a l'incandescenza.

Questa era pure la tinta della fiamma più piccola, quando stava isolata.

L'esperienza ci prova dunque che le molecole del sodio assorbono a punto quei raggi, che esse sono capaci di emettere.

Si potrebbe poi dimostrare che queste sole onde vengono assorbite.

§ 3. — Una cosa perfettamente simile si verifica per i raggi di forza elettrica (29).

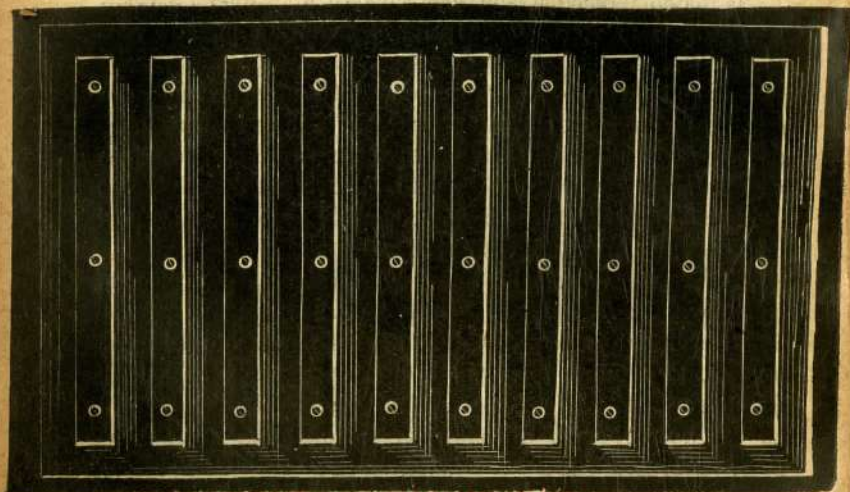
Dispongo, al solito, i due specchii primario e secondario uno in faccia a l'altro; e munisco il risonatore dell'elettroscopio, che proietto nel modo consueto.

L'eccitatore rappresenta quì la parte, che era tenuta prima da la fiamma a ventaglio; e il secondario corrisponde a l'occhio, con il quale si faceva l'osservazione. E' un occhio, che vede soltanto le onde di una determinata lunghezza.

Quanto a la fiammella conica, adopererò in sua vece questo apparecchio. È una tavoletta di legno d'abete (fig. 72), su la quale ho fermato a vite dieci striscie di latta rettangolari, lunghe cinquantaquattro centimetri e larghe cinque. Ciascuna di esse corrisponde dunque a ciò, che si otterrebbe saldando, senz'altro, fra loro le due metà del conduttore secondario. In altre parole sono dieci risonatori senza alcuna interruzione, nei quali dunque si può fare liberamente il movimento dell'elettricità.

Metto il Ruhmkorff in azione; come sempre le paglie dell'elettroscopio si riuniscono.

Tavoletta d'abete con 10 risonatori di latta

Fig. 72.

Interpongo ora la tavoletta *A B*, (fig, 73), tenendola vicina al primo specchio, e procurando che le dieci striscie riescano presso a poco verticali.

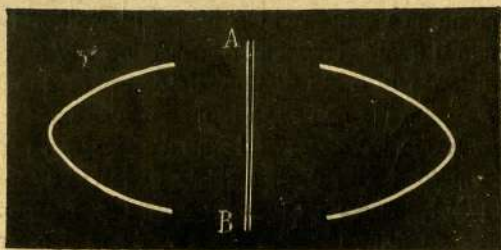



Fig. 73.

Immediatamente le scintilline al risonatore cessano, e l'elettroscopio si carica, e le paglie divergono.

La tavoletta assorbe dunque quelle onde, che valgono ad eccitare il secondo circuito.

Abbiamo veduto altra volta che i conduttori sono opachi per i raggi elettromagnetici; e però si potrebbe dubitare che l'eccitazione del secondario sia sospesa, perchè i corpi, che ho interposto, sono metallici, non perchè essi funzionino da risonatori.

Questo dubbio si toglie facilmente. Basta in fatti girare la tavoletta di novanta gradi nel suo piano, perchè le paglie dell'elettroscopio tornino a riunirsi. Vedremo a suo tempo che, con questa rotazione, si impedisce il movimento dell' elettricità nei risonatori, che coprono lo schermo.

Accennavo dianzi che una fiamma gialla assorbe solamente i raggi gialli; e non sarebbe capace, per esempio, di impedire la propagazione di raggi rossi o turchini, o di qualunque altro colore. Similmente non mi riuscirebbe di proteggere il secondario da l'azione dell'eccitatore, se

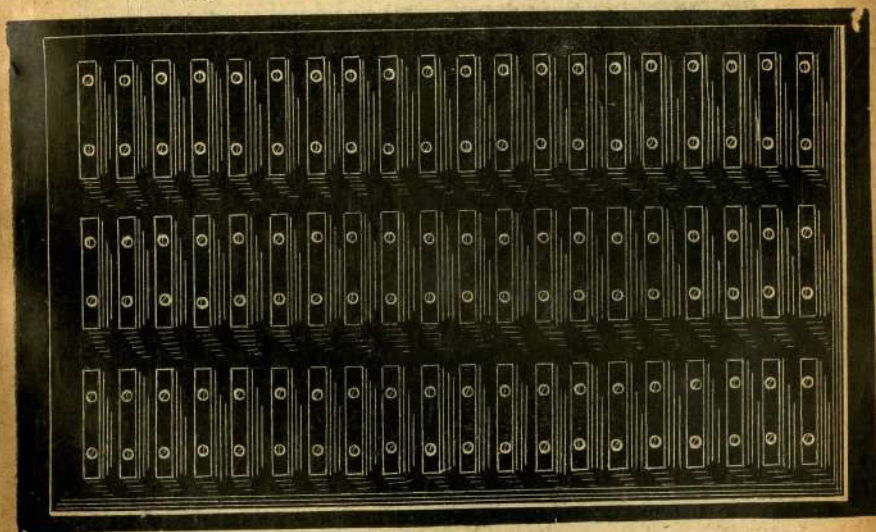



Fig. 74.

impiegassi un sistema di risonatori, che fossero molto diversi da quello, che tengo collegato con l'elettroscopio.

Sopra una seconda tavoletta ho disposto quì sessanta striscie di latta, assai più piccine delle altre, che impiegavo prima; sono lunghe quindici centimetri e larghe tre.

Interpongo questo nuovo schermo (fig. 74) fra gli specchii e, come vedono, esso non ha alcuna azione. Le paglie rimangono a contatto.

§ 4. — Che l'assorbimento, esercitato da i sistemi di conduttori su i raggi di forza elettrica, è legato intimamente con il fatto della risonanza, si può mostrare anche in un altro modo.

Per questa esperienza impiego dei risonatori differenti da quelli, che ho adoperato finora; e cioè dei circuiti chiusi. Scelgo questi piuttosto che gli altri perchè in essi si può interrompere la circolazione dell' elettricità senza spezzare il conduttore in due; ciò che, in sostanza, porta a sostituire ad un unico secondario una coppia di secondarii di dimensioni minori.

Risonatore Fig. 75.

Disgraziatamente non è più possibile, con questi apparecchii, fare uso dell'elettroscopio; bisogna limitarsi a l'osservazione delle scintilline.

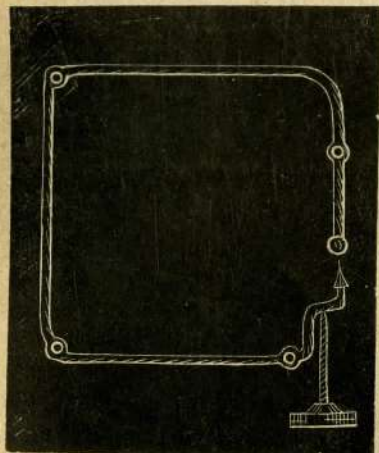
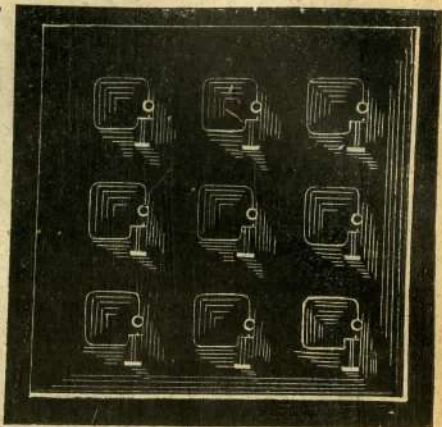
I risonatori, che impiego, sono quadrati di grosso filo di rame (fig. 75), aventi quindici centimetri di lato. Ne dispongo uno sopra un sostegno, davanti a lo specchio primario, in modo che il suo piano sia verticale e che risulti anche verticale il lato, in cui si trova l'intervallo di scarica.

Altri nove apparecchii, in tutto simili a questo primo, ho fissato nello stesso modo sopra una tavoletta d'abete (fig. 76), che colloco immediatamente davanti a l'eccitatore. Movendo le viti, abbrevio gli intervalli di scarica nei circuiti, che costituiscono lo schermo, finchè in ciascuno di essi si producano le scintilline.

Fig. 76.

E bene, adesso, si trova che nel decimo risonatore, quello che sta isolato, è impossibile avere indizio di correnti; anche se si porta la punta a toccare quasi la pallina.

Ma se faccio crescere un poco la distanza esplosiva nei secondarii della tavoletta, così che le scariche non vi si possano più produrre, l'ultimo risonatore comincia a mostrare delle scintille.

E questo prova a punto ciò, che avevo enunciato.

§ 5. — Andiamo innanzi, e passiamo ad un altro argomento.

Ho incollato sopra un'assicella tre pezzi di carta colorata; uno è rosso, l'altro è giallo, ed il terzo è turchino.

Se, in vece che con la luce del sole, illuminassi questi pezzi di carta con la luce dell'arco voltaico, o con quella di una qualunque sorgente bianca, le loro tinte rimarrebbero, a un dipresso, inalterate. Ma le cose vanno diversamente, se mi servo di una sorgente monocromatica. Faccio chiudere ermeticamente le finestre della sala, ed introduco un po' di sale comune nella fiamma oscura di un becco Bunsen (fig. 77). Subito questa si tinge vivamente in giallo.

Ma, delle carte colorate, soltanto la gialla conserva il suo aspetto : le altre due appariscono di un colore cupo, quasi nero.

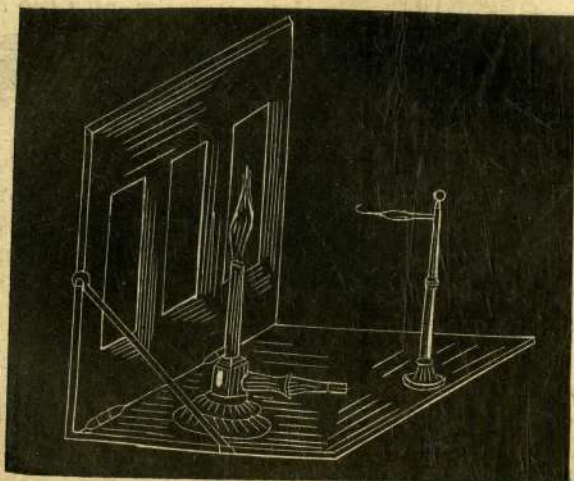



Fig. 77.

Vuol dire che i corpi assumono la loro tinta particolare solamente se, nella radiazione, che viene a colpirli, esistono certe onde determinate.

§ 6. — Dei fatti analoghi a questi si possono riscontrare con i raggi di forza elettrica (30).

Colloco adesso i due specchii del Hertz ad una certa distanza uno da l'altro ; ma non li tengo più faccia a faccia, bensì li pongo in modo che i piani assiali si incontrino ad angolo retto.

A punto dove questi piani si tagliano, a quarantacinque gradi su ciascuno di essi, voglio mettere la prima delle tavolette, che ho adoperato oggi, quella con le striscie grandi di latta *AB*, (fig. 78). E le striscie le tengo verticali.

Si verifica anzi tutto che questo schermo riflette vivacemente i raggi di forza elettrica. In fatti, se il primario

viene eccitato con il Ruhmkorff, l'elettroscopio, collegato al risonatore, si scarica.

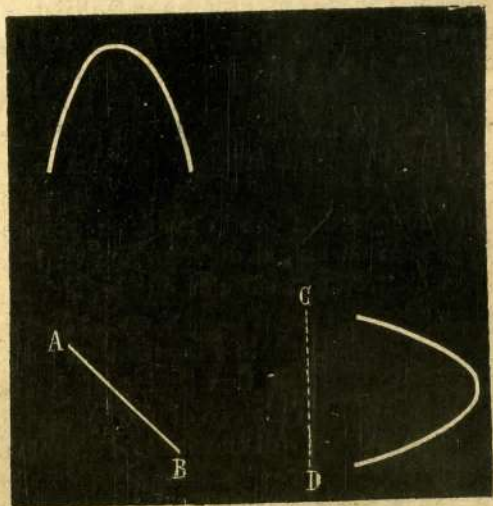



Fig. 78.

Perchè avvenga la riflessione è necessario che i secondarii, che formano lo specchio, siano verticali, cioè eccitabili. Se li disponessi orizzontalmente, facendo rotare la tavoletta sopra sè stessa di un angolo retto, non vi sarebbe più indizio di raggio riflesso.

Lascio la tavoletta nella posizione di prima; e davanti a lo specchio primario pongo lo schermo con i sessanta piccoli risonatori, che abbiamo impiegato dianzi *CD*, (fig. 78). Come vedono, non succede nessun cambiamento; le paglie dell'elettroscopio sono sempre riunite, vale a dire le scintille continuano a passare.

E la cosa si intende bene. La tavoletta con i risonatori piccini sopprime bensì certi raggi, ma non quelli, che sono capaci di eccitare i secondarii più grandi. In modo simile, nell'esperienza con la luce, si potevano togliere via le onde di moltissimi periodi, senza che la carta gialla mutasse colore.

Ma se, in luogo dello schermo con i risonatori piccoli, ne metto uno con dieci striscie grandi di latta, simile in tutto a quello, che mi serve da specchio, non si ha più segno di raggio riflesso. Tanto che la parte del secondario, che è collegata con la pila secca, riceve una carica e la conserva.

Similmente ho trovato poco fa che, sopprimendo nella sorgente i raggi turchini, la carta turchina appariva nerastra.

Si può dunque dire che le tavolette coperte di risonatori, impiegate da noi, si differenziano da le lastre conduttrici non interrotte in ciò che queste ultime riflettono ogni raggio, quelle, in vece, solamente i raggi di un certo periodo.

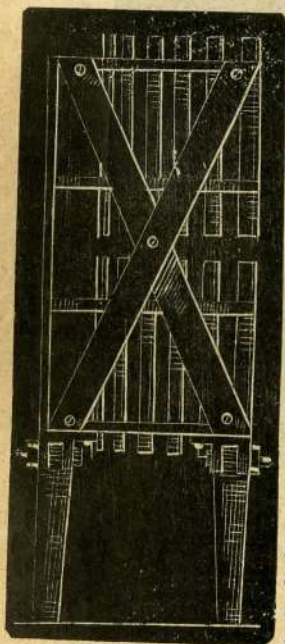
Fig. 79.

Una lamina di latta è dunque l'analogo di uno specchio ordinario, o di uno strato d'argento speculare, mentre uno schermo di risonatori fa l'ufficio di un corpo colorato.

§ 7. — E' evidente che, quando si voglia ottenere nei fenomeni la massima intensità e la massima nettezza, sarà opportuno di impiegare, così per il primo che per il secondo circuito, dei riflettori *colorati*, in vece che dei riflettori *incolori* (31).

L'apparecchio, che presento Loro (fig. 79), è costruito a punto secondo questo concetto; e s'adatta al risonatore (di cinquantaquattro centimetri per cinque) che abbiamo impiegato quasi esclusivamente finora.

Le parti non metalliche di questo specchio non differiscono per nulla da quelle degli specchii ordinarii. Ab-

biamo anche quì quattro assicelle incavate a parabola, munite di traverse, e sorrette con gambe di legno. Solamente, in luogo dell'unica lamina di zinco, vi sono in questo apparecchio ventisei risonatori grandi di latta, disposti in due righe orizzontali, simili in tutto a quelli dello schermo, che testè funzionava da specchio piano.

Questo riflettore ha su quelli ordinarii parecchii vantaggi. Anzi tutto rinforza meglio quella particolare lunghezza d'onda, per la quale è calcolato; è alquanto più leggiero, e permette che si veda nel suo interno da ogni punto della sala.

L'unico inconveniente consiste in ciò che, come è naturale, l'apparecchio può servire per un solo risonatore: sicchè, quando si volesse, per esempio, fare uso di parecchii secondarii differenti, bisognerebbe procurarsi tutta una serie di specchii.

§ 8. — Ho detto dianzi che gli schermi formati da risonatori, come quelli che abbiamo impiegato oggi, agiscono su i raggi elettromagnetici come i corpi colorati su la luce. Non sarà inutile di insistere un momento su questo punto.

In realtà le sostanze coloranti, quando si studiino in luce bianca, si possono dividere in due categorie, nettamente distinte.

Alcune, e fra esse la maggior parte dei colori minerali, presentano per riflessione e per trasparenza la medesima tinta.

Altre, come per esempio i metalli e i derivati dell'anilina, offrono, quando si osservino per trasparenza, una colorazione ben diversa da quella che la loro superficie rimanda. Si tratta, propriamente, di tinte, che, riunite, danno il bianco, o, come si suol dire, tinte *complementari*.

Le sostanze della prima specie si possono chiamare *sostanze coloranti ordinarie*; queste altre, a le quali accennavo ora, si dicono *sostanze a colore superficiale*.

Una tale differenza si può spiegare ammettendo che le molecole dei corpi a colore superficiale sono capaci di

esercitare un fortissimo assorbimento sopra un colore determinato, mentre non hanno, quasi, azione su tutti gli altri. Ne viene che in queste sostanze la riflessione si fa nei primi strati, vicini a la superficie, mentre nei corpi a colorazione ordinaria la luce può penetrare alquanto nell'interno.

Dicevo che i metalli appartengono a la seconda categoria. In realtà, tutte le sostanze di questa natura presentano a punto quell'aspetto caratteristico, che diciamo *metallico*, e, come appare, in seguito a la somiglianza delle proprietà ottiche.

La natura produce dei corpi a colore ordinario ed anche dei corpi a colore superficiale. Come esempio posso mostrare Loro, al microscopio, le squame di alcune farfalle (32).

Se illumino l'oggetto che voglio studiare, con lo specchio, che sta sotto la piattaforma, e, contemporaneamente, riparo questa da l'azione diretta della luce, mi rendo conto della tinta trasmessa. Se, in vece, allontano lo specchietto e scopro la piattaforma, vedo, naturalmente, il colore riflesso.

Colloco, per esempio, sul portaoggetti alcune squame appartenenti ad una grossa farfalla nostrana, il *Papilio Machaon*. Queste presentano in luce trasmessa ed in luce riflessa la medesima tinta gialla; la sostanza che le colora appartiene dunque a la prima categoria.

Assai diversamente vanno le cose con queste altre squame che ho tolte a certe farfalle, del genere *Morpho*, proprie del Brasile. Esse mostrano per riflessione una tinta celeste vivacissima, ma in luce trasmessa sono gialle (*).

(*) Le squame tolte a le parti turchine delle ali delle *Morpho* sono così intensamente colorate che, in luce trasmessa, non lasciano vedere che una tinta bruno-sudicia molto cupa. Queste farfalle hanno però spesso, sempre su le faccie superiori delle ali, certe righe chiare, che, ad una prima osservazione, sembrano tinte di un

Ora questi due colori sono complementari; in fatti, se illumino la squama contemporaneamente dal di sopra e dal di sotto, essa assume una tinta biancastra. Vuol dire che siamo ora in presenza di una sostanza a colore superficiale.

Chiudiamo la digressione e torniamo a i nostri schermi. Adesso noi possiamo decidere subito in quale categoria di corpi colorati si debbano mettere. Poi che rimandano delle onde, che non lasciano passare, essi ci rappresentano il modello di una sostanza a colore superficiale.

Ma vale la pena di insistere ancora su questo argomento, per cercare di approfondirlo meglio.

Sanno che la radiazione emessa da una fiamma non è tutta visibile, ma contiene, in generale, dei raggi ad onda più lunga o più breve di quelli che il nostro occhio vede. Li chiamiamo *ultrarossi* ed *ultravioletti*.

Ora, se si studia il comportamento di un corpo a colorazione ordinaria, rispetto a questi raggi oscuri, si finisce sempre per incontrare, nella regione ultrarossa o nell'ultravioletta, certe onde particolari, su le quali il corpo in esame agisce come una sostanza della seconda categoria. Voglio dire che, per le perturbazioni prossime ad un determinato periodo, l'assorbimento è elettivo, e il raggio riflesso è monocromatico.

Così, per esempio, la fluorite, che sembra a l'occhio quasi del tutto diafana, e che rimanda a pena i varii raggi visibili, è, in vece, molto assorbente per certe onde ultrarosse, la cui lunghezza è prossima a ventiquattro millesimi di millimetro. Una superficie di fluorite, tirata a pulimento, riflette assai bene queste stesse onde, e riflette in modo sensibile queste sole.

---

colore rosato. Ma si tratta solo di un effetto di contrasto. Se si tolgono alcune squame a quelle righe e si isolano, si riconosce che esse sono costituite a punto come le altre, che formano il fondo dell'ala, ed hanno la stessa tinta, benchè molto più pallida. Su queste conviene fare l'osservazione, perchè quì si vede meglio che i colori sono complementari.

Ciò è tanto vero che, volendo isolare fra i raggi ultrarossi, emessi da una fiamma, un fascetto monocromatico, si può a punto ricorrere a l'espediente di far riflettere la radiazione tre o quattro volte di seguito sopra altrettante lastre di fluorite, bene spianate.

L'artifizio è in sostanza quello stesso al quale accennavo poco fa, indicando come sia vantaggioso impiegare per i raggi di forza elettrica uno specchio formato di risonatori.

Se ripensiamo ora a tutto questo, che ho detto, si intende subito come la distinzione fra le due categorie di sostanze coloranti non è punto fondata nella natura delle cose. Bensì ha valore solamente per il nostro occhio.

E si comprende anche perchè i risonatori, che ho mostrato Loro, agiscano come corpi a colore superficiale. La causa sta in ciò che i raggi, studiati da noi, sono costituiti da onde, la cui lunghezza è paragonabile in ogni caso con quella delle onde, che sono capaci a punto di eccitare i risonatori, che formano il sistema.

Ma se continuando ad impiegare il primario ed il secondario, dei quali mi sono servito finora, o pure sostituendoli con una coppia di circuiti non troppo differenti, io interponessi fra l'uno e l'altro apparecchio una tavoletta, o una lastra di vetro, coperta di risonatori estremamente piccoli (lunghi per esempio un venti o venticinque millesimi di millimetro), questo sistema agirebbe press' a poco ad un modo nei due casi, cioè costituirebbe il modello di una sostanza colorante ordinaria.

La stessa lastra poi, come ben si comprende, apparirebbe, in vece, a tinta superficiale, se la mettessi in presenza di onde paragonabili a quelle, che eccitano i suoi risonatori.

Ora abbiamo veduto, nella lezione passata, che il secondario di cinquantaquattro centimetri rivela delle onde che hanno una lunghezza di poco inferiore a la sua. Se ammettiamo, ciò che corrisponde a l'in circa a la realtà, che

il rapporto fra le dimensioni del secondario e la lunghezza dell'onda sia sempre lo stesso, potremo subito concludere che la lastra, della quale parlavo or ora, deve assorbire e riflettere energicamente delle onde lunghe venti o venticinque millesimi di millimetro.

In pratica non è possibile produrre dei raggi di forza elettrica ad onda tanto corta; bisognerebbe per questo ridurre in proporzione la grandezza dell'eccitatore.

Ma le considerazioni, che ho svolto, non riescono del tutto inutili, mostrano anzi l'opportunità di tentare una esperienza, la quale, d'un solo tratto, metta i fenomeni della luce in intimo rapporto con quelli della radiazione elettromagnetica.

Noi abbiamo osservato sempre, in questa lezione e nelle lezioni passate, una grande analogia di comportamento fra le onde della luce e del calore da una parte e quelle dei raggi di forza elettrica da l'altra. Tanto che si può dire che, per noi, non v'è fra le prime e le seconde altra differenza che di lunghezza.

Non potrebbe la somiglianza del comportamento spingersi ancora più in là? non sarebbe possibile, per esempio, ottenere dei fenomeni di risonanza con un raggio di luce, facendolo riflettere sopra una lastra coperta di striscie metalliche minutissime?

Badino che nemmeno la riuscita di quest' esperienza indica la identità di struttura fra le molecole dei corpi ed i nostri conduttori. Anzi piuttosto il contrario, come si vedrà meglio in seguito. Ho già fatto osservare espressamente, in una delle ultime lezioni, che si possono avere fenomeni di risonanza fra sistemi molto diversamente costituiti. Un getto d'acqua sente, in qualche modo, il suono d'una corda di violino; e pure, in questo caso, la struttura del risonatore e quella dell'eccitatore non hanno assolutamente nulla di comune. Ciò che pone in relazione i due sistemi è una circostanza esteriore: è il fatto che entrambi emettono delle onde di ugual natura, ed entrambi vengono influenzati da le onde, che sono capaci di emettere.

A lo stesso modo, l'esperienza, a la quale accennavo, si potrebbe considerare, quando fornisse un resultato affermativo, come una prova rigorosa della natura elettromagnetica della luce. Almeno per quanto è possibile fornire delle prove in una scienza di osservazione.

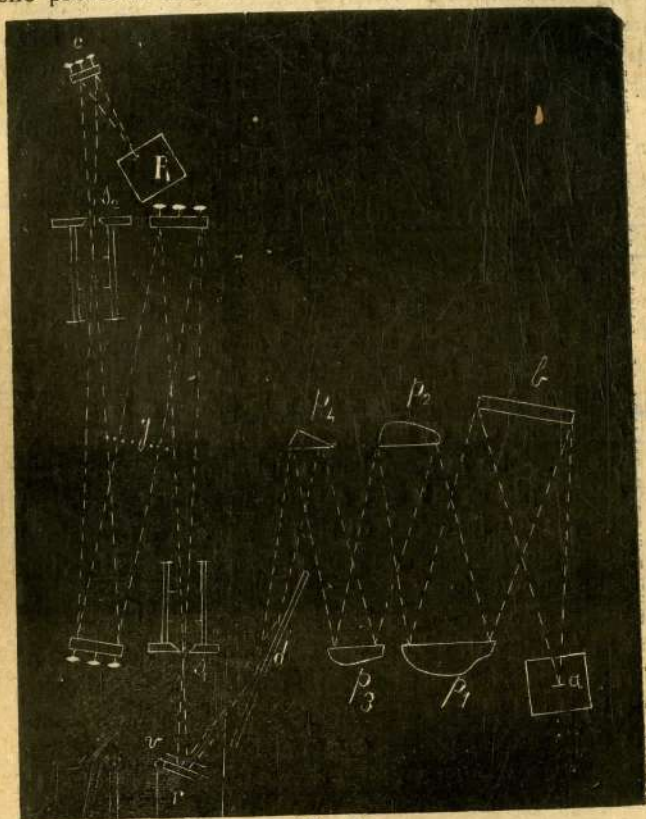



Fig. 80.

§ 9. — Ora una tale ricerca ıu intrapresa ultimamente da due fisici abilissimi. E. Rubens ed E. F. Nichols, tedesco il primo e l'altro americano, e l'esito fu a punto quello, che le considerazioni teoriche lasciavano prevedere (33).

Io non ripeterò quì le esperienze di Rubens e Nichols, che esigono dei mezzi d'osservazione molto delicati e che ad ogni modo non si potrebbero mostrare ad un uditorio un po' numeroso. Mi accontento soltanto di indicare, su la lavagna, la disposizione del loro apparecchio (fig. 80) e di riassumerne i resultati principali.

I raggi termici, emessi da la sorgente x, cadono sopra lo specchio concavo b, che li rende alquanto convergenti, così che essi si vadano da ultimo a riunire su la fenditura, s_1, di uno spettrometro.

p_1, p_2, p_3 e p_4 sono quattro pezzi di fluorite, con una faccia piana e ben levigata; su questi la radiazione si riflette sotto un angolo di circa quindici gradi.

In tale modo, per una proprietà, che ho menzionato poc' anzi, i raggi si riducono ad essere sensibilmente monocromatici. E le onde superstiti hanno quasi tutte una lunghezza di 24,4 millesimi di millimetro.

Queste onde sono rimandate da la superficie p_4 sopra una lastra di vetro, d, che incontrano sotto un angolo di sessantanove gradi. Non mi fermo ora a spiegare minutamente quale sia l'azione di questo specchio piano (*). Dirò soltanto che, dopo la nuova riflessione, i raggi termici si comportano come se fossero emessi da eccitatori tutti paralleli tra loro e perpendicolari al piano d'incidenza. (Nelle esperienze di Rubens e Nichols questo era orizzontale).

In r si colloca il sistema di risonatori, che si vuol studiare, o pure uno specchio ininterrotto d'argento; in v un diaframma, munito di foro circolare, per limitare la radiazione.

Così i raggi si vengono a raccogliere su la fenditura s_1 dello spettrometro s_1, g, s_2. E' questo un apparecchio

(*) Si confronti in proposito la lezione tredicesima.

a riflessione, di struttura particolare, su i dettagli del quale è inutile insistere (*).

Da ultimo lo specchio convergente a corto foco *c* raccoglie i raggi sopra l'apparato di misura *R*, che è un radiometro, cioè un sistema estremamente leggero, con due alette di mica, il quale può rotare dentro uno spazio vuoto, intorno ad un asse verticale. Un sistema di questo genere, quando una delle alette si esponga a l'azione del calore raggiante, gira di un certo angolo, la grandezza del quale fornisce un criterio per giudicare della intensità della radiazione incidente.

Gli schermi di risonatori, che Rubens e Nichols impiegarono nelle loro esperienze, venivano preparati ricoprendo con uno strato d'argento delle lastre piane di vetro. Nel velo metallico poi, mediante una macchina a dividere, si praticavano due sistemi ortogonali di scalfitture rettilinee, equidistanti. In questo modo rimanevano isolati tanti minutissimi rettangoli uguali, d'argento.

E si realizzava il sistema di conduttori estremamente piccoli, del quale ho parlato poco fa.

Rubens e Nichols costruirono parecchie lastre, con risonatori di diverse grandezze; riporto le costanti di due fra esse, indicando in quale misura seguisse per queste la riflessione del calore raggiante.

	Primo schermo	Secondo schermo
Numero dei risonatori in un cm.^{2} . . .	1000.10^3	333.10^3
Lunghezza dei risonatori (in milles. di mm.)	6,5	24,4
Larghezza » » » »	4,6	5,5
Percento della radiazione incidente riflesso :		
a) risonatori orizzontali	18,1	15,3
b) » verticali	22,7	50,2

(*) L'organo *g*, un reticolo di fili metallici, serve per la misura della lunghezza d'onda, e si toglie via durante le esperienze di risonanza.

Come si vede, per entrambi i sistemi la riflessione segue meglio quando i risonatori sono verticali; in questo caso poi il secondo schermo rimanda i raggi termici oscuri assai più che il primo.

L'uno e l'altro fatto è in completo accordo con i resultati delle nostre esperienze su i raggi di forza elettrica. E però è verisimile che la radiazione termica e luminosa sia radiazione elettromagnetica. Almeno ogni cosa succede come se questo fosse vero.

Segue ancora di quì che, se si impiegassero degli eccitatori adatti a secondarii di venticinque millesimi di millimetro a l'in circa, essi produrrebbero, secondo ogni probabilità, delle onde simili in tutto a quelle, che si isolano riflettendo il calore raggiante su le lastre di fluorite.

Vuol dire che, se le molecole della fluorite fossero costituite come i nostri conduttori, esse dovrebbero avere delle dimensioni assai più grandi di quelle, che hanno in realtà.

Questo non distrugge, naturalmente, per nulla il significato delle nostre esperienze; ma mette in chiara luce ciò, che ho affermato più volte, vale a dire che le teorie e le ipotesi sono semplici modelli di quello, che succede nella natura.

***

§ 10. — I fatti, che ho mostrato Loro in questa lezione, si enunciano dunque rigorosamente dicendo che i sistemi di conduttori impiegati da noi *rappresentano* bene il comportamento della materia nei fenomeni di assorbimento e di riflessione. Anche ho descritto un'esperienza, che mostra probabile un'identità di natura fra i raggi del Hertz e i raggi luminosi e termici.

LEZIONE UNDICESIMA.

I risonatori come modelli delle molecole materiali: rifrazione e dispersione — Apparecchii del Righi.

§ 1. — L'accettabilità dei risonatori come modelli delle molecole materiali si può anche riscontrare con lo studio di fenomeni diversi da quelli, che esaminammo nella lezione passata. E veramente la materia agisce su la luce anche in altro modo che per assorbimento o per riflessione.

Per esempio si sa che, in diversi corpi, un medesimo colore si propaga con velocità differenti e che, d'altra parte, per uno stesso mezzo, sono disuguali le velocità di propagazione delle varie onde. Per questo, con l'impiego del prisma, si può produrre ciò che si chiama lo spettro di una data sorgente, vale a dire si possono isolare i raggi di diverso periodo esistenti nella sua radiazione.

Ora vedemmo già che le correnti alternative si muovono più o meno velocemente lungo i conduttori, a seconda del mezzo, in cui questi sono immersi. Ed accennammo a la possibilità di rifrangere i raggi di forza elettrica con un prisma di asfalto (*).

Non abbiamo ripetuto codesta esperienza, per le difficoltà materiali che essa offre.

La cosa, del resto, non ha, dal punto di vista teorico, un interesse molto grande. In realtà il modo d'agire dei

(*) Si confrontino in proposito le lezioni settima ed ottava.

prismi materiali su la radiazione del Hertz non sembra essere in tutto quello stesso che sopra la luce.

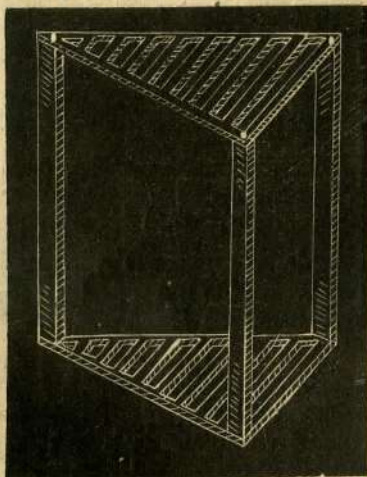
Come ricordavo un momento fa, l'ottica constata il fatto importantissimo della dispersione. E bene, pare che niente di simile avvenga, in generale, nel caso dei raggi di forza elettrica. Almeno per quanto si può dedurre da esperienze indirette.

La cosa dopo tutto non sarebbe molto difficile da intendere. Poi che la dispersione consiste, in ultima analisi, in una differenza di comportamento di certe determinate molecole rispetto ad onde di lunghezza diversa, bisogna pur considerarla come un fenomeno di risonanza. Ma non v'è risonanza quando il sistema secondario e la radiazione, che lo colpisce, hanno dei periodi molto differenti.

D'altra parte si intende anche subito come si possa costruire un apparecchio, che sia per la radiazione del Hertz ciò, che è un prisma ordinario per la luce. Bisognerà procurare che le sue *molecole* siano paragonabili con quelle, che, eccitate, producono il raggio elettromagnetico. In altre parole bisognerà che il prisma sia formato di risonatori, nello stesso modo che gli schermi, dei quali ci siamo valsi nella lezione passata.

Fig. 81.

Ho costruito un apparecchio, che risponde a tali esigenze; è questo, che presento Loro. Lo impiegherò a produrre la rifrazione, riservandomi di dimostrare più tardi, con disposizioni più comode, il fatto della dispersione.

Si tratta, come vedono, di un'armatura leggera di legno

d'abete (fig. 81), formata da tre bastoni, che collegano due telai in forma di triangolo. Queste basi del prisma sono regolari ed hanno un metro di lato. Similmente sono quadrati di un metro le faccie laterali. Due lati di ciascun triangolo sono ancora riuniti da otto traverse, parallele tutte al terzo lato.

Fra le traverse corrispondenti superiore ed inferiore sono tese delle file di risonatori: piccole striscie di latta di quindici per due centimetri. In ciascuna fila un risonatore è assicurato a quello che gli sta sopra con due cordoncini di seta; il primo è fermato nello stesso modo al telaio superiore e l'ultimo al telaio di sotto.

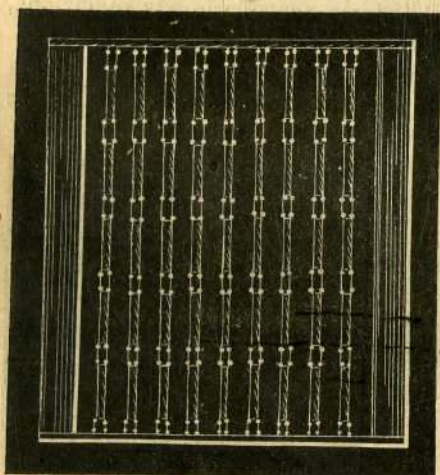



Fig. 82.

Vi sono in ogni fila cinque risonatori; nove file formano il primo strato (fig. 82), otto il secondo, e così via, una sola l'ultimo. Sicchè tutto lo spazio del prisma è riempito con dugentoventicinque striscie di latta, distribuite uniformemente.

Io colloco ora i due soliti specchii, con il primo e il secondo circuito, faccia a faccia, e interpongo fra essi il prisma, in modo che dei tre lati delle basi uno sia prossimamente parallelo a i piani assiali dei cilindri parabolici. Poi, da una parte e da l'altra del prisma, dispongo ancora due grosse lastre di zinco; in modo che sia escluso il dubbio che alcuni raggi possano passare fuori dello spazio occupato da i piccoli risonatori.

Quindi faccio che il rocchetto agisca. Accade adesso

che il secondario, benchè il suo riflettore si trovi davanti a quello dell'eccitatore, non dà segno di essere percorso da correnti. E questa mancanza dell'azione induttrice del primo sul secondo circuito non si deve attribuire ad un assorbimento esercitato da le striscie di latta, che compongono il prisma. In fatti, se sposto lo specchio del risonatore lateralmente, da la parte opposta a quella dello *spigolo rifrangente* del prisma, l'eccitazione si fa e l'elettroscopio perde la sua carica.

Vuol dire che il raggio traversa il *corpo*, che abbiamo posto su la sua strada, ed è deviato da esso. E la deviazione succede in quello stesso senso, in cui si fa per la luce, che esce da un prisma di vetro.

Posso fare l'esperienza anche in un altro modo, che riesce più comodo. E cioè posso lasciare i due specchi di fronte e, con una lastra piana di zinco, rimandare nel riflettore del secondario il raggio deviato, che esce dal prisma. Anzi non è nemmeno necessario che impieghi per questo una lastra metallica; basta, per farne l'ufficio, il mio corpo e quello di un aiuto.

§ 2. — Volendo constatare il fatto della dispersione è necessario fare delle misure, sia pure grossolane; a questo non si prestano bene gli apparecchii, che impiegammo fin quì per la produzione dei raggi di forza elettrica.

L'eccitatore e il risonatore sono di dimensioni molto grandi e però assai incomodi da maneggiare. Inoltre, come ebbi già occasione di avvertire, la grandezza del primario e del secondario ha per conseguenza la lunghezza dell'onda. Anche questo riesce in molte esperienze un inconveniente grave.

Per ovviare a tali difficoltà si è cercato da parecchii di ridurre le dimensioni degli apparati del Hertz; il Righi ha ottenuto in questa ricerca dei resultati veramente pratici, e le sue disposizioni sperimentali sono ora universalmente adottate (34).

L'ostacolo principale, che si incontra, quando si vuol

costruire un eccitatore di dimensioni ridotte, consiste in ciò che i fili stessi, che servono per condurre la carica a le due metà del primario, perturbano in qualche modo il movimento dell'elettricità. Il Righi ha superato genialmente la difficoltà, sopprimendo senz'altro le condutture.

Il suo eccitatore risulta di due palline d'ottone, vicinissime una a l'altra; a queste palline si guida il flusso dell'elettricità prodotto dal rocchetto, o, meglio, da una macchina del Holtz, per mezzo di fili, che terminano in due piccole sfere. Ma non vi è contatto fra le sfere della conduttura e le palline dell'eccitatore. Bensì si lascia, da una parte e da l'altra, un intervallo d'aria. Si fanno dunque tre scintille consecutive. Quella di mezzo, naturalmente, è piccolissima, le altre sono alquanto più lunghe.

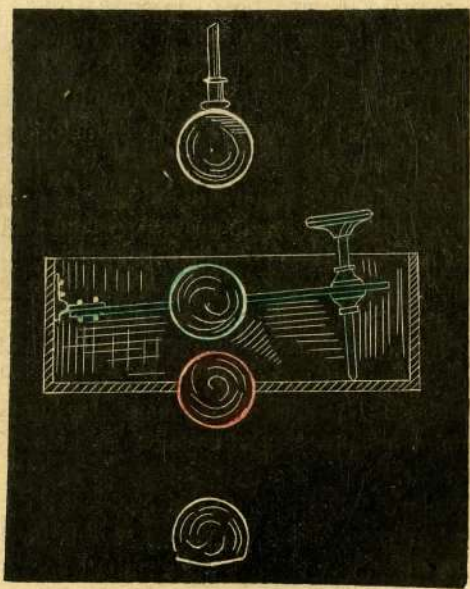



Fig. 83.
Eccitatore del Righi

Il Righi si è valso ancora di un artificio, che assicura

l'andamento regolare della scarica oscillante, e ne rende più intensi gli effetti. Ha fatto cioè che la scintilla minore accadesse nell'olio in vece che nell'aria. In questo modo gli elettrodi non si insudiciano tanto presto e per uguali distanze esplosive si raggiungono delle differenze di potenziale più grandi (*).

In pratica l'eccitatore del Righi si può costruire in molti modi diversi. La disposizione adottata da me è delle più semplici (fig. 83).

Una cassettina di legno, senza coperchio, e munita di una parete di vetro, reca nel fondo un foro, nel quale è incastrata una delle palline, che formano il primario. Nel caso nostro la cassetta è lunga dieci centimetri, alta e larga cinque: le palline hanno due centimetri di diametro.

Vi è poi un'assicella, fermata a cerniera contro una delle pareti laterali della scatola, questa è larga quattro centimetri e lunga nove. E' forata essa pure verso il mezzo, e nel foro riposa la seconda pallina.

Da la parte opposta a la cerniera l'assicella è traversata da una grossa vite, la cui testa sporge fuori della cassetta, e la punta s'appoggia, senz'altro, sul fondo.

Girando questa vite nel senso degli indici dell'orologio o nell'opposto, si ottiene, naturalmente, di alzare o d'abbassare alcun poco la pallina superiore, e così di variare l'intervallo di scarica.

La scatola si riempie di olio minerale o di olio di vaselina.

Da principio si può, guardando per la finestra di vetro, fissare la pallina a la distanza, che si giudica conveniente; più tardi l'olio annerisce e non è più possibile discernere nulla nell'interno. E bisogna accontentarsi di girare un pochino la vite a destra o a sinistra, a tentoni, finchè si ottengano degli effetti soddisfacenti.

§ 3. — Anche per il risonatore le difficoltà sono gravi. Si

(*) Questo artificio si deve a i signori Sarasin e De la Rive (35).

capisce in fatti che la vite e la punta e la piccola pallina, che servono per regolare la produzione delle scintille, mentre non perturbano sensibilmente le oscillazioni degli apparecchii più grandi, produrrebbero quì degli inconvenienti sensibili.

In questo caso ancora è riuscito al Righi di risolvere elegantemente il problema.

L'artificio che egli imaginò è analogo in tutto a quello, del quale ho discorso a proposito delle esperienze di Rubens e Nichols. Propriamente gli schermi adoperati da questi ultimi derivano da i risonatori del fisico italiano.

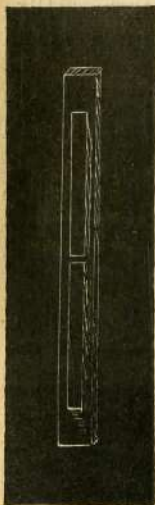
I secondarii del Righi, in fatti, sono semplici striscie metalliche, con un taglio verso il mezzo, nel quale scoccano le scintille.

Per prepararli si depone, sopra una lastra di vetro da specchii, un velo sottilissimo d'argento; così sottile che a pena riesca opaco per la luce. Quindi si intaglia, nella superficie del metallo, la strisciolina delle dimensioni volute (fig. 84), e si raschia tutt' intorno l' argentatura con un temperino.

Fig. 84.

Quanto a l' intervallo di scarica conviene praticarlo con una punta di diamante, molto fine, che si fa scorrere leggermente sul risonatore.

Questi secondarii, come s'intende, hanno una distanza esplosiva, che non si può variare e sono soggetti a l' inconveniente di guastarsi assai presto. Al passare delle scintille, poco a poco, l' argento si ossida e brucia, e l' intervallo cresce. Sicchè l' apparecchio diventa inservibile. La durata è

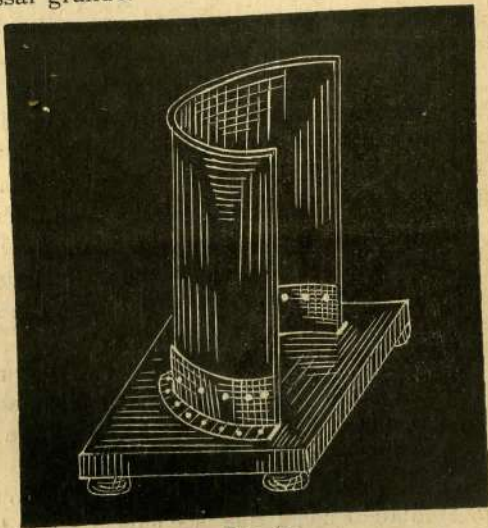
maggiore se lo strato metallico è più spesso, ma anche in questo non si può eccedere, perchè, quando lo spessore del velo è troppo grande, è difficile che il taglio riesca netto e completo.

I risonatori del Righi si fanno di varie dimensioni, a seconda del periodo, che si preferisce.

Ne impiegheremo oggi due differenti, il primo dei quali è lungo sei centimetri, e il secondo tre; le larghezze rispettive sono di tre e due millimetri. Entrambi vengono eccitati assai bene dal primario, che ho descritto dianzi.

Tanto l'eccitatore che il risonatore si debbono naturalmente munire di specchii.

Per il primario preferisco impiegare un riflettore sferico. E' quello stesso, che mi servì altra volta per le esperienze su la luce e sul calore raggiante. Bisognerà fare in modo che la scintilla di mezzo riesca a punto nel foco dello specchio; ciò che si ottiene collocandola là dove si forma l'imagine di una fiamma, posta su l'asse, ad una distanza assai grande.

Fig. 85.

Per i secondarii adopero, in vece, dei cilindri parabolici. Sono costruiti sul principio degli specchii di risonatori, che descrissi nella lezione passata. Ma la disposizione è un po' diversa.

Si tratta, come vedono, in entrambi i casi, di un foglio di cartoncino, al quale ho dato la forma più opportuna adattandolo in un armatura parabolica d'ottone, che è fissata a la sua volta sopra una tavoletta di legno (fig. 85).

Sul cartone poi sono incollate, in serie parallele, molte striscioline di stagnola. Hanno in ciascuno specchio le stesse dimensioni che il risonatore, per il quale lo specchio deve servire. Ma naturalmente non sono munite di intervallo di scarica.

Raccolgo in un quadro le costanti dei due riflettori.

	Altezza	Distanza focale	Numero dei risonatori in una riga	Numero delle righe di risonatori
1. Specchio	13 cm.	8 cm.	35	3
2. Specchio	13 cm.	3 cm.	23	1

Le scintilline, che si producono nei secondarii del Righi, sono tanto piccine che difficilmente si possono osservare ad occhio nudo; tanto più se la stanza, nella quale si sperimenta, non è completamente buia. Per questo nello specchio, lateralmente, è praticato un foro, in cui entra l'estremità di un microscopio, che si punta su l'intervallo di scarica. Non è necessario poi che l'ingrandimento superi i trenta o quaranta diametri.

§ 4. — Come ho detto, mi voglio servire di questi apparecchii per dimostrare che un prisma di risonatori non rifrange soltanto, ma anche disperde la radiazione emessa da l'eccitatore.

A quest'uopo devierò per rifrazione un raggio di forza elettrica, e, studiando con i due secondarii la radiazione, che emerge dal prisma, farò vedere che nei due casi si constata una deviazione diversa.

Non posso, come ben si comprende, impiegare quello stesso sistema di conduttori, che ho adoperato in principio

di questa lezione. Perchè i risonatori, che lo compongono sono troppo grandi rispetto a quelli, che stanno nelle linee focali dei nostri specchii secondarii. Ma conviene, in vece, che le dimensioni del prisma si riducano anch' esse di molto.

L'apparecchio che vedono quì davanti a me, fu costruito a punto secondo quest'idea (35). E funziona egregiamente bene.

Consta di sette lastre di vetro, alte tutte trentacinque centimetri, e larghe rispettivamente trentacinque, trenta, venticinque, venti, quindici, dieci e cinque centimetri.

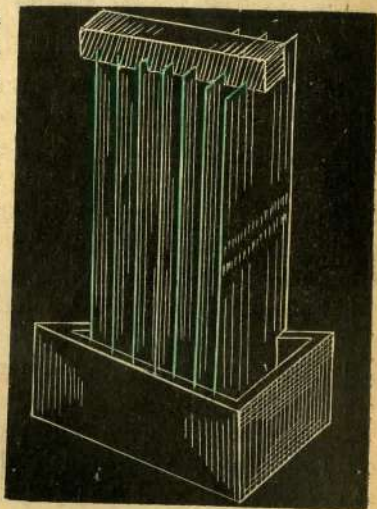
Sopra ognuna di queste lastre ho incollato, in molte file parallele, un gran numero di risonatori, vale a dire di piccole striscie di stagnola, di quindici millimetri per due. Ogni fila ne contiene dodici. E il numero delle file varia da lastra a lastra.

Ve ne sono ventuna su la prima, diciotto su la seconda, e così via, tre su l'ultima.

Abbiamo dunque in tutto, su le sette lastre, un migliaio di risonatori a l' in circa.

Ora ha fissato questi sette schermi sopra una rastrelliera di legno, così che essi stanno ora paralleli e verticali (fig. 86). E la distanza fra due qualunque successivi è costante.

Fig. 86.
Prisma di risonatori

Anche i risonatori risultano tutti quanti verticali, e riempiono uniformemente uno spazio di forma prismatica regolare, che è limitato lateralmente da tre quadrati, con il lato di trentacinque centimetri.

Dispongo codesto prisma sopra un sostegno, davanti a lo specchio sferico E, (fig. 87), per modo che i raggi incidano sotto un angolo di quaranta gradi, a l'in circa. E da una parte e da l'altra accosto ancora due lastre di zinco (Z Z, nella figura), così da limitare la radiazione.

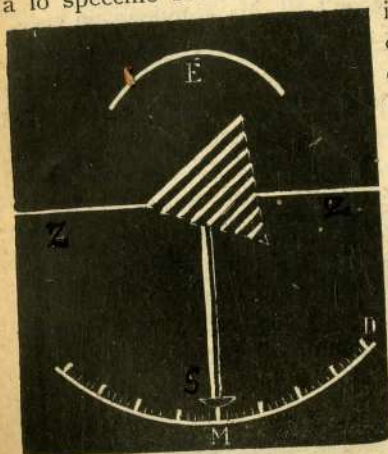



Fig. 87.

Prendo ora il riflettore secondario con le striscie metalliche più grandi, e lo fisso davanti a l'eccitatore, sopra un carrello munito di ruote *(S)*.

Questo è fermato rigidamente ad una stanga, che può girare intorno ad un punto fisso. Per tal modo un indice, unito al carrello, si viene a muovere sopra un cerchio diviso, che ho tracciato sul tavolo, dove faccio l'esperienza (M D).

Pur troppo si tratta quì di un fenomeno, che ciascuno di Loro dovrà vedere, a la sua volta; non è possibile rendere manifeste, in qualche modo, a distanza, queste minute scintilline.

Poniamo in azione l'apparecchio, facendo girare il disco di una macchina elettrica del Holtz, le cui estremità polari sono collegate metallicamente con le due palline esterne dell'eccitatore.

Guardando ora nel microscopio, che va unito al secondario, non si vede traccia di scariche. Ma le scintille si mostrano, in vece, se sposto lo specchio del risonatore verso la destra *(D)*.

Continuando sempre nel movimento, si finisce per arrivare ad un punto, nel quale ogni azione del primo sul secondo circuito si annulla. Fermiamoci quì.

Quando dianzi le scintille sono apparse, lo spostamento dato a lo specchio del risonatore era di un certo numero, c_s, di gradi, ora è alquanto maggiore; diciamo di c_d gradi. Si potrebbe pensare che la deviazione del raggio, o, per meglio dire, la deviazione della sua parte centrale sia, senz' altro, la media aritmetica dei due valori $c^o{}_s$ e $c^o{}_d$, cioè:

$$\frac{c^o{}_s + c^o{}_d}{2}.$$

Ma bisogna riflettere che la *materia*, della quale è formato il prisma, esercita sopra la radiazione un assorbimento, che ha per conseguenza di avvicinare al punto di mezzo *(M)* dell'arco graduato gli orli apparenti del raggio.

E' chiaro che da la parte di destra questa pseudo deviazione, α_1, si oppone a quella reale, α, dovuta a la rifrazione, da la parte di sinistra, in vece, coopera con essa.

E si vede subito come si possano liberare i nostri resultati da codesto errore.

Togliamo via il prisma e determiniamo, come prima, gli orli del raggio; siano $s^o{}_s$ e $s^o{}_d$ i valori corrispondenti dello spostamento impresso a lo specchio secondario. Avremo senza più che

$$c^o{}_s - s^o{}_s$$

rappresenta la somma di α con α_1; mentre

$$c^o{}_d - s^o{}_d$$

è la differenza fra le stesse due quantità.

Se poniamo per c_s, c_d, s_s, e s_d i valori, che si trovano effettivamente, nel nostro caso, viene:

$$c^o{}_s - s^o{}_s = 6^o\ 24',$$
$$c^o{}_d - s^o{}_d = 3^o\ 36',$$

e quindi:

$$\alpha = \frac{(c^o_s - s^o_s) + (c^o_d - s^o_d)}{2} = 5^\circ\ 00'.$$

E' questa la vera deviazione prismatica.

Adesso voglio togliere via il risonatore, che ho impiegato finora, e il suo specchio; e sostituirvi il secondario più piccino (di tre centimetri) e il relativo riflettore. Tutte le altre condizioni dell'esperienza rimangono inalterate.

Ripetiamo, nello stesso ordine, le stesse determinazioni di prima.

Indicando con le medesime lettere le quantità corrispondenti si trova adesso:

$$c^o_s - s^o_s = 15^\circ\ 18',$$
$$c^o_d - s^o_d = 1^\circ\ 30';$$

da le quali uguaglianze segue:

$$\alpha = 8^o\ 24'.$$

Questo vuol dire che la deviazione, subita dal raggio, appare diversa a seconda del conduttore secondario, che s'impiega per fare l'esperienza.

In altre parole si riconosce che questo nostro prisma *disperde* i raggi di forza elettrica. A punto come un prisma di materia ordinaria disperde i raggi della luce.

E' quello che avevo annunciato.

Notiamo ancora che i raggi ad onda più corta sono i più fortemente deviati; a lo stesso modo, fra i colori che emergono da un prisma di vetro, il violetto si scosta più del rosso da la direzione primitiva di propagazione.

§ 5. — Prima di lasciare questo argomento farò un'ultima esperienza, che vale ad illustrare sempre meglio il modo d'azione dei nostri sistemi di conduttori.

Tolgo via il prisma e lo scompongo, levando una

dopo l'altra le lastre da la rastrelliera a la quale erano affidate. E le aggruppo, in vece, sopra un altro sostegno, in modo differente (fig. 88). La settima lastra, la più stretta,

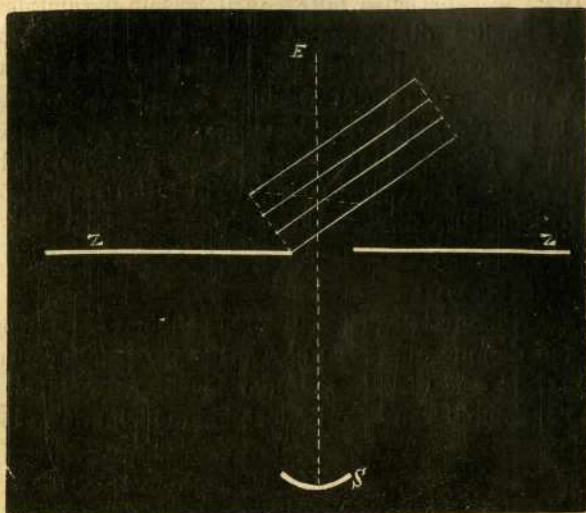



Fig. 88.

sta ora a canto a quella, che ha trenta centimetri di larghezza, e forma con essa un unico schermo; e così sono avvicinate la terza e la sesta, la quarta e la quinta lastra.

Di modo che i piccoli risonatori riempiono ora uno spazio a forma di parallelepipedo. Siccome la distanza fra due schermi successivi è la stessa di prima, possiamo dire che si tratta di una grossa lamina della medesima materia, della quale era formato il prisma.

Questa lamina la interpongo fra l'eccitatore e il risonatore, normalmente a la direzione del raggio. Cercando adesso di determinare, con lo spostamento del secondario, i limiti della radiazione, si trova che essi, a destra e a sinistra, distano ugualmente da l'asse dello specchio sferico.

Se, in vece, inclino alquanto la lastra, è facile riconoscere

che si produce un piccolo spostamento. Ma si capisce bene che si tratta piuttosto di scostamento laterale, che di una vera deviazione.

Anzi: le esperienze fatte con il prisma permettono di calcolare l'indice di rifrazione per quello speciale *corpo* e per il raggio che si studia. E in base a questo resultato si può, con considerazioni teoriche molto semplici, assegnare la grandezza dello spostamento, che deve produrre la lamina a faccie piane e parallele. Se facessimo i calcoli si troverebbe un valore conforme in tutto a quello che fornisce la misura diretta.

* * *

§ 6. — Come conseguenza di ciò che abbiamo veduto oggi, possiamo dunque affermare che, anche per quanto riguarda la rifrazione e la dispersione, uno spazio nel quale sono disseminati molti conduttori è un buon modello di un corpo materiale.

LEZIONE DODICESIMA.

Luce bianca e radiazione del Hertz — Esperienze di Le Royer e van Berchem — Teorie algebricamente equivalenti.

§ 1. — Più volte durante questo corso, ma specialmente nelle ultime lezioni, abbiamo avuto campo di riconoscere l'analogia, che passa fra i raggi emessi da l'eccitatore del Hertz e quelli, che manda ogni corpo solido o liquido portato a l'incandescenza. A quel modo che si ammette che la luce bianca risulta da un complesso di radiazioni di periodo differente, bisognerà pur concludere che non sono monocromatici i raggi elettromagnetici, quali noi li sappiamo produrre (*).

Ma, anche se si accetta questo come provato, resta sempre a risolversi una quistione interessante. Si può doman-

(*) I primi ad accorgersi che con un medesimo eccitatore si possono far funzionare molti secondarii differenti furono i signori E. Sarasin e L. De la Rive, di Ginevra. Essi diedero al fenomeno il nome di *risonanza multipla* e lo spiegarono a punto nel modo, che indico nel testo. I signori Sarasin e De la Rive hanno perfezionato in molte parti l'opera del Hertz; e, fra l'altre cose, hanno fatto vedere che i raggi elettromagnetici si muovono nell'aria con la stessa velocità che le correnti oscillanti guidate da i fili metallici, vale a dire (si confronti in proposito la lezione settima) con la velocità della luce (37).

dare in fatti quale sia in realtà, in un istante determinato, la forza elettrica, in un punto arbitrario del campo, che l'eccitatore produce.

Perchè si capisce bene che le esperienze, nelle quali si fa uso di risonatori, non possono fornire la grandezza vera della perturbazione, ma solamente conducono a determinare quella parte o componente, il cui periodo conviene al secondario impiegato.

Volendo sottoporre a misure la forza, nella sua intensità complessiva, bisognerebbe far uso di apparecchii, che non avessero un proprio modo di vibrare, ma sentissero le azioni, indipendentemente da la loro frequenza.

Degli istrumenti di questo genere li possediamo da gran tempo per la radiazione luminosa e calorifica, e sono la *pila termo-elettrica* e il *bolometro* (*).

Ma anche per i raggi del Hertz fu trovato, alcuni anni or sono, da A. Le Royer e P. v. Berchem, uno di tali misuratori aperiodici.

Il Branly dimostrò fin dal 1890 che la resistenza, offerta al passaggio della corrente da un tubo pieno di limatura metallica, diminuisce enormemente quando, in prossimità di esso, si faccia scoccare una scintilla (38).

Ripetendo queste esperienze, Le Royer e v. Berchem si accorsero che il fenomeno si produce in modo sensibile, in quei casi soltanto, in cui la scintilla agente corrisponde ad una scarica alternativa. Ebbero quindi l'idea di impiegare un metodo, fondato su tale proprietà, per lo studio della radiazione del Hertz.

L'apparecchio del quale si servirono (39) era un tubo di vetro, contenente un pizzico di limatura di ferro. Nel tubo, per le estremità, entravano due aghi calamitati, in

---

(*) Il bolometro è essenzialmente un filo metallico, sottile, annerito, la cui resistenza ohmica si altera (cresce) quando certe radiazioni lo colpiscono.

modo che due poli opposti di essi venivano a trovarsi faccia a faccia, a pochi millimetri di distanza.

Fra questi poli si stendeva, come un ponte, la limatura di ferro. L'azione delle scariche la rendeva conduttrice.

Ma è chiaro che basta un piccolo urto, per distruggere un simile ponte; quando lo si ristabilisce l'effetto è sparito.

Le Royer e v. Berchem trovarono che l'influenza della scintilla si fa sentire ancora a venticinque metri di distanza; bensì va affievolendosi, quanto più ci si allontana da l'eccitatore.

Nelle loro esperienze l'apparecchio primario aveva due dischi di latta di dieci centimetri di diametro; la distanza fra essi poteva variare fra ventisette e quaranta centimetri (*).

Disposero codesto circuito davanti ad uno specchio piano di zinco, come si suol fare per l'esperienza dell'onda stazionaria. E, nello spazio compreso fra primario e riflettore, collocarono il tubo a limatura, del quale ho parlato or ora, per vedere se l'effetto, prodotto in esso da le scariche, variasse da punto a punto.

In questo modo riconobbero facilmente la presenza di nodi e di ventri dell'azione.

Ma il fenomeno offriva una particolarità interessantissima. E cioè, la distanza fra due nodi successivi dipendeva da la grandezza dell'eccitatore, e non mutava se, a parità dell'altre condizioni, si alterava comunque il tubo a limatura.

Questo comportamento è in tutto diverso da quello dei secondarii del Hertz, sicchè sembra che se ne possa concludere a punto l'aperiodicità dell'apparecchio di misura.

Se la conclusione è legittima, dobbiamo ritenere che

(*) La forma di questo eccitatore era simile in tutto a quella del primario rappresentato da la figura 53.

le determinazioni di Le Royer e v. Berchem danno la forza in vera grandezza.

E poi che tali esperienze dimostrano la presenza di un' onda stazionaria, si è costretti ad ammettere che ciò, che parte da l'eccitatore, è una perturbazione semplicemente periodica.

I due sperimentatori trovarono in oltre che la nettezza dei nodi, diminuiva assai presto a partire da lo specchio. E questo sembra accennare ad una mancanza di regolarità nel fenomeno (*), o più probabilmente ad uno smorzamento, che la perturbazione periodica subisce.

Sicchè, riassumendo, noi ci troviamo in presenza di due resultati, che sembrano contradditorii.

Da una parte tutti i fatti, che si constatano per mezzo dei risonatori, portano a considerare la radiazione, emessa da l'eccitatore, come multipla.

Da l'altra questi esperimenti di Le Royer e v. Berchem ci obbligano a concludere che si tratta, in vece, di una grandezza semplicemente periodica e smorzata.

§ 2. — E bene, io mi propongo di far vedere che la discordanza di tali conclusioni non è reale; che, anzi, delle due cose una segue da l'altra con necessità.

Per fare la dimostrazione io ragionerò, su la luce in vece che sopra i raggi del Hertz, valendomi della conoscenza, che abbiamo, del modo come è distribuita l'energia nello spettro del sole.

E propriamente farò vedere che, da le misure bolometriche, si deduce che la perturbazione, la quale si propaga in un raggio di luce bianca, è semplicemente periodica e smorzata (40).

Una volta provato questo, si comprenderà subito come un fatto analogo *possa* avvenire per il caso dei raggi emessi da l'eccitatore del Hertz.

Ma si vedrà anche una nuova profonda somiglianza fra i due fenomeni.

(*) Si confronti la lezione nona.

E badino che non vi è difetto di logica nell'insistere su questa perfezione del nostro modello, come tale, anche dopo aver riconosciuto che esso non corrisponde, probabilmente, a la realtà.

E' anzi di supremo interesse, per la teoria della conoscenza, di vedere fino a che punto un'imagine può dare l'illusione dell'oggetto, quando le leggi più semplici, a le quali i due sistemi soddisfano, sono le stesse.

Studiando, con un bolometro, lo spettro del sole, si trova che l'energia non è distribuita uniformemente per tutta la lunghezza, ma anzi le onde corrispondenti a certi periodi sono assai più intense che le altre.

Ora è possibile dedurre, da le misure dirette, dei numeri proporzionali a le *ampiezze* delle singole onde. Sanno che cosa si intende con questa parola.

Ogni funzione periodica pendolare si può rappresentare con la formola:

$$[1] \qquad i = a \operatorname{sen} \frac{2\pi t}{T},$$

nellla quale t è il tempo, T il periodo, π, al solito, il rapporto fra la circonferenza e il suo diametro, e finalmente a è a punto ciò, che chiamiamo ampiezza.

Ora il modo, nel quale varia l'ampiezza dell'onda, al variare del periodo, nello spettro del sole, si può rappresentare, a un di presso, con la curva che ho disegnato su questa tavola (fig. 89).

Quì le distanze contate secondo l'asse x si sono prese proporzionali a i periodi, mentre le distanze contate secondo l'asse y stanno in un rapporto costante con le ampiezze corrispondenti.

Intendono bene che cosa significa questo. Volendo conoscere a quale ampiezza arrivi in un raggio di luce solare un' onda di determinato periodo, bisognerà prendere su l'asse x, a partire da l'origine, un segmento proporzio-

nale a quel periodo, e da l'estremo di esso alzare una perpendicolare, fino a l'incontro con la curva.

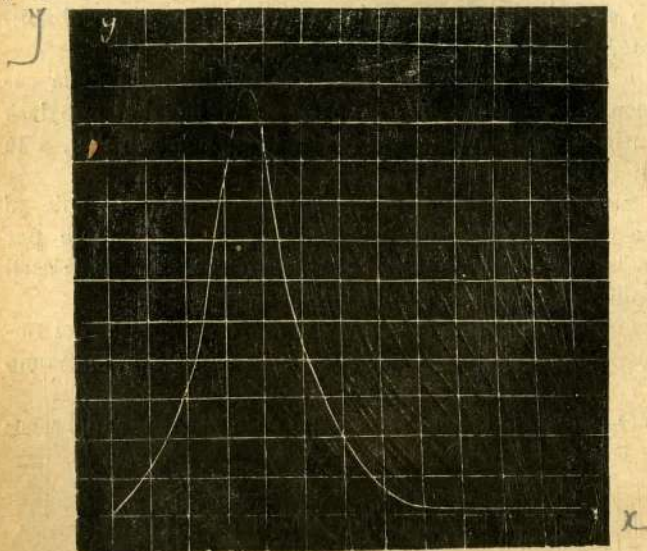



Fig. 89.

Sicchè la grandezza della perturbazione di periodo T, si potrà rappresentare con la formola:

$$i = hy \ sen \frac{2 \pi t}{k x},$$

h e k essendo due coefficienti di proporzionalità.

Componendo le infinite i, che corrispondono a i varii punti della curva, si ottiene, manifestamente, il valore della perturbazione risultante, al tempo t.

In pratica non sarebbe possibile di fare rigorosamente questa composizione, ma è chiaro che si troverà un resultato poco diverso dal vero sopraponendo solamente un numero un po' grande di i, distribuite con una certa regolarità nello spettro (*).

(*) Che questo sia lecito si ricava dal fatto che la luce del sole appare bianca, sebbene manchino in essa molti periodi, in corrispondenza delle righe del Fraunhofer.

Prendiamo, per esempio, nella nostra curva, i punti le cui ascisse (le coordinate x) progrediscono di quarto in quarto di centimetro. Si ricavano per le y i seguenti valori:

x	y	x	y
0,25	2,5	2,00	47,0
0,50	5,5	2,25	34,0
0,75	9,5	2,50	24,0
1,00	15,0	2,75	15,0
1,25	24,5	3,00	10,0
1,50	42,0	3,25	7,0
1,75	54,0	3,50	3,5

E' inutile tener conto delle y corrispondenti a valori della x, che superano i tre centimetri e mezzo; perchè, essendo molto piccole, non possono avere un' influenza sensibile sul resultato finale.

I coefficienti h e k di proporzionalità sono perfettamente arbitrarii; cambiandoli non cambia, come si intende subito, il carattere delle nostre funzioni. Solamente cambierà la grandezza delle curve rappresentative.

Per avere dei disegni di dimensioni un po' comode io faccio la scelta seguente:

$$k = 1{,}60\,,$$
$$h = 0{,}05\,,$$

cioè pongo:

$$T = 1{,}60\; x,$$
$$a = 0{,}05\; y.$$

In questo modo la tabellina ne fornisce un'altra, vale a dire:

T	a	T	a
0,4	0,125	3,2	2,350
0,8	0,275	3,6	1,700
1,2	0 470	4,0	1,200
1,6	0,750	4,4	0,750
2,0	1,225	4,8	0,500
2.4	2,100	5,2	0,350
2,8	2,700	5,6	0,175

Noi dobbiamo adesso per ciascuna coppia di valori (T,a) calcolare la i secondo la formola [1], facendo variare ancora la t entro certi limiti.

Evidentemente basta limitare il calcolo a l' intervallo di un quarto di periodo; in seguito la grandezza della i si ottiene senz' altro da i valori già trovati.

Ho raccolto in questa grande tavola i resultati, che si calcolano effettivamente per le quattordici coppie di costanti (T,a).

1.ª *Coppia.*

$t =$ 0,02 0,04 0,06 0,08 0,10
$i =$ 0,038 0,073 0,101 0,119 0,125

2.ª *Coppia.*

$t =$ 0,04 0,08 0,12 0,16 0,20
$i =$ 0,085 0,161 0,222 0,261 0,275

3.ª *Coppia.*

$t =$ 0,03 0,06 0,09 0,12 0,15 0,18 0,21 0,24 0,27 0,30
$i =$ 0,074 0,147 0,215 0,279 0,336 0,382 0,423 0,451 0,469 0,470

4.ª *Coppia.*

$t =$ 0,04 0,08 0,12 0,16 0,20 0,24 0,28 0,32 0,36 0,40
$i =$ 0,117 0,231 0,340 0,441 0,530 0,606 0,668 0,713 0,741 0,750

5.ª *Coppia.*

$t=$	0.05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$i=$	0,191	0.378	0,556	0,720	0,866	0.991	1,091	1,165	1,210	1,225

6.ª *Coppia.*

$t=$	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60
$i=$	0,327	0,649	0,953	1,235	1,485	1,699	1,871	1,997	2,075	2,100

7.ª *Coppia.*

$t=$	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63	0,70
$i=$	0,421	0.989	1,226	1,587	1,909	2,184	2,405	2,567	2,667	2,700

8.ª *Coppia.*

$t=$	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80
$i=$	0,366	0,726	1,067	1,382	1,661	1,901	2,094	2,235	2,322	2,350

9.ª *Coppia.*

$t=$	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,90
$i=$	0,265	0,525	0,772	0,999	1,202	1.375	1,514	1,616	1,679	1,700

10.ª *Coppia.*

$t=$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$i=$	0,187	0,371	0,545	0,705	0,848	0,971	1,069	1,141	1,185	1,200

11.ª *Coppia.*

$t=$	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	0,99	1,10
$i=$	0.117	0,231	0,340	0,441	0,530	0,606	0,668	0,713	0,741	0,750

12.ª *Coppia.*

$t=$	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20
$i=$	0,078	0,154	0,227	0,294	0,353	0,404	0,445	0,475	0,494	0,500

13.ª *Coppia.*

$t=$	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,04	1,17	1,30
$i=$	0,054	0,108	0,159	0,206	0,247	0,283	0,312	0,333	0,346	0,350

14.ª *Coppia.*

$t=$	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98	1,12	1,26	1,40
$i=$	0,027	0,054	0,079	0,103	0,123	0,141	0,156	0,166	0,17[illegible]	0,175.

Ora è chiaro che, servendomi di questi numeri, posso rappresentare facilmente, con quattordici curve, l'andamento delle quattordici perturbazioni di periodo via via crescente.

Per esempio, potrei assumere due assi ortogonali e contare lungo uno di essi il tempo, lungo l'altro la *i*.

Le linee tracciate su questa tavola (fig. 90) furono a punto costruite secondo tale concetto.

In esse si è presa la *t* come ascissa, facendola variare fino al valore 5,60, che corrisponde al periodo della più lenta fra le quattordici onde considerate (*).

Secondo ciò, che ho detto poco fa, volendosi ora conoscere l'andamento della perturbazione *bianca*, basterà disegnare una nuova curva, della quale l'ordinata, relativa all'ascissa *t*, sia la somma delle ordinate possedute, a la medesima ascissa, da le prime quattordici curve.

Nel fare la somma bisogna tenere conto dei segni, vale a dire detrarre le lunghezze, che si contano sotto l'asse *t*.

Facendo realmente l'operazione si ottiene la linea, che vedono quì a canto (fig. 90 *d*).

E tale linea corrisponde a punto ad un fenomeno periodico, la cui ampiezza decresce con il tempo.

Arriviamo dunque ad un resultato identico a quello, che si otteneva per i raggi del Hertz, e vediamo inoltre che non v'è contraddizione fra i singoli esperimenti, come avevo affermato.

§ 3. — Non è forse inutile rilevare il senso logico generale, che scaturisce da questo caso particolare, esaminato da noi.

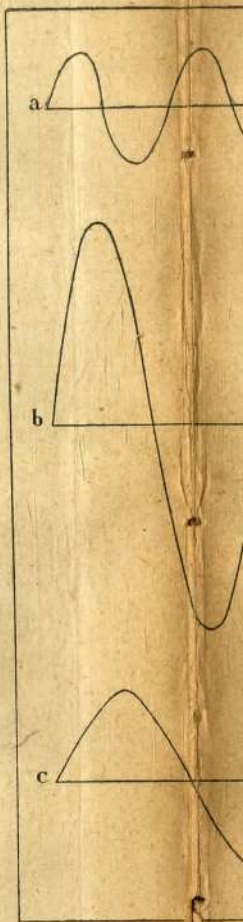
Si comprende in fatti che è perfettamente nell'arbitrio nostro di considerare la vibrazione dell'eccitatore del Hertz

(*) Le figure 90 *a*, *b*, *c* riproducono tre di queste linee; quelle che risultano da la considerazione della quarta, settima, e decima coppia.

Tavola III.

Figura 90 (vedi pagina 204).

Lezione XII.

Ora è chiaro che, servendomi di questi numer rappresentare facilmente, con quattordici curve, mento delle quattordici perturbazioni di periodo crescente.

Per esempio, potrei assumere due assi ortog contare lungo uno di essi il tempo, lungo l'altro l:

Le linee tracciate su questa tavola (fig. 90) fu punto costruite secondo tale concetto.

In esse si è presa la t come ascissa, facend riare fino al valore 5,60, che corrisponde al period più lenta fra le quattordici onde considerate (*).

Secondo ciò, che ho detto poco fa, volendosi noscere l'andamento della perturbazione *bianca*, disegnare una nuova curva, della quale l'ordinata, all'ascissa t, sia la somma delle ordinate possedu medesima ascissa, da le prime quattordici curve.

Nel fare la somma bisogna tenere conto dei vale a dire detrarre le lunghezze, che si contan l'asse t.

Facendo realmente l'operazione si ottiene la lin vedono quì a canto (fig. 90 *d*).

E tale linea corrisponde a punto ad un fenom riodico, la cui ampiezza decresce con il tempo.

Arriviamo dunque ad un resultato identico a che si otteneva per i raggi del Hertz, e vediamo che non v' è contraddizione fra i singoli esperiment avevo affermato.

§ 3. — Non è forse inutile rilevare il senso generale, che scaturisce da questo caso particolar minato da noi.

Si comprende in fatti che è perfettamente nell' nostro di considerare la vibrazione dell'eccitatore de

(*) Le figure 90 *a*, *b*, *c* riproducono tre di queste line che risultano da la considerazione della quarta, settima, coppia.

etico).

TAVOLA III.

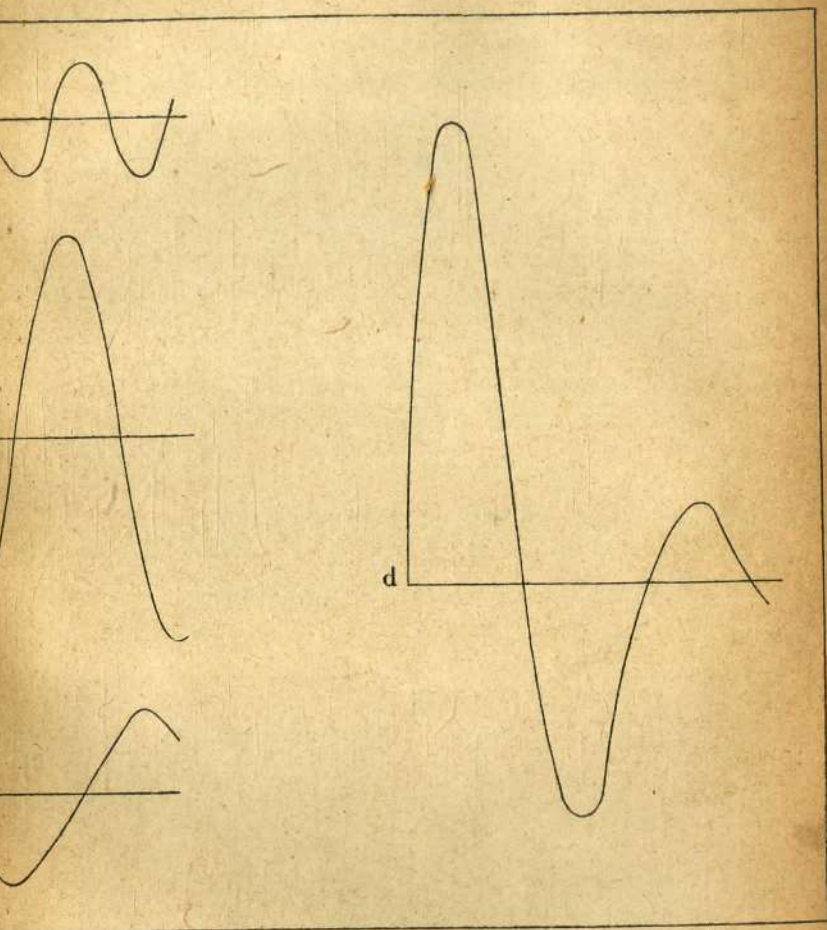
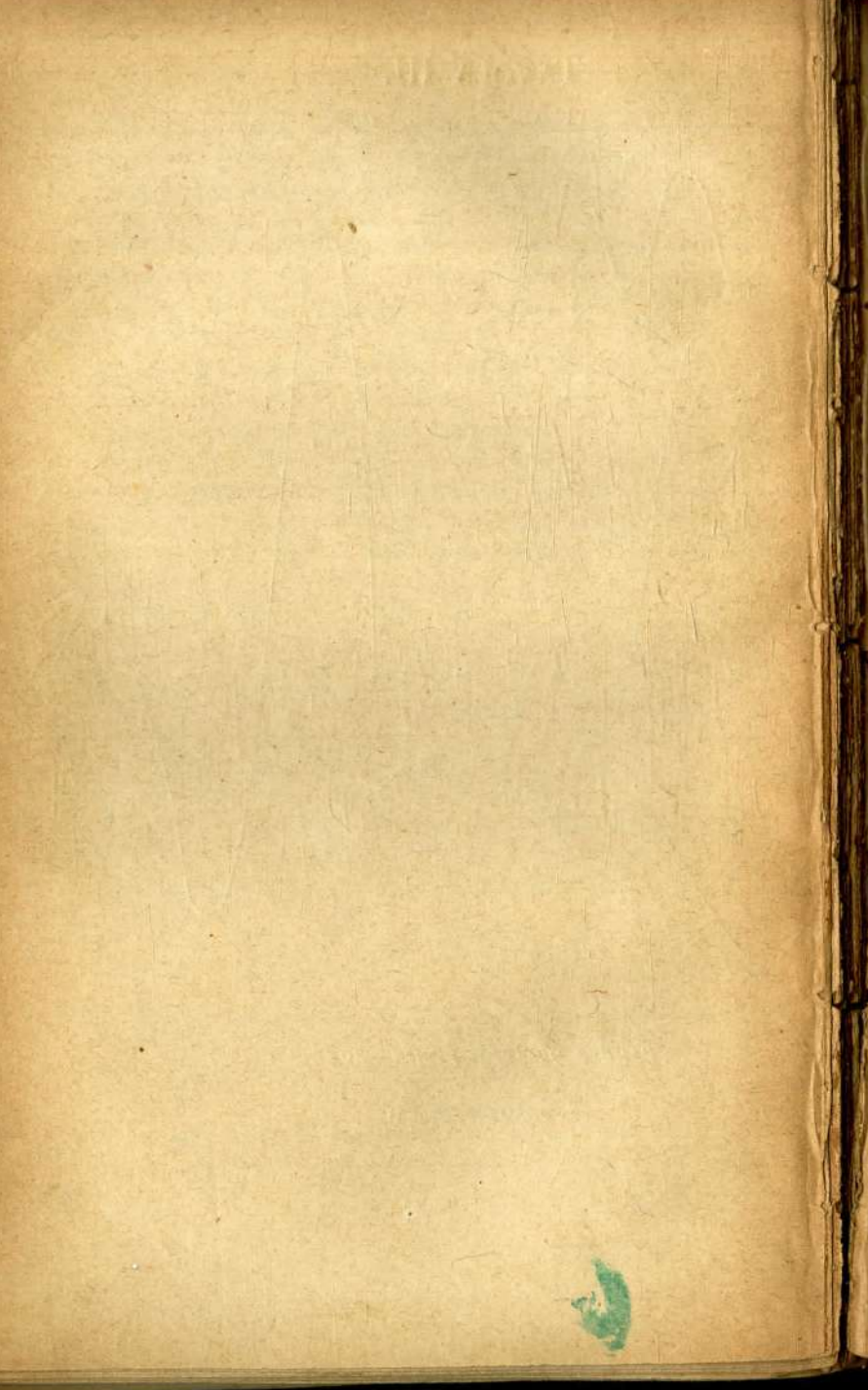



Figura 90 (vedi pagina 204).

Lezione XII.

come semplice o come multipla; dal momento che l'una e l'altra ipotesi si equivalgono.

Ma su l'una e su l'altra ipotesi si può edificare una teoria, e le due teorie, benchè diverse nella forma, potranno essere ugualmente vere.

Il fenomeno logico è diverso da quello dell'equivalenza meccanica, che avemmo già occasione di imparare a conoscere. In vero quì non si fa quistione di meccanismi; e si può parlare soltanto di una *equivalenza algebrica.*

Le due cose sono completamente distinte. Due teorie possono essere fra loro in relazione di equivalenza algebrica, e supporre due modelli diversi; o basarsi, in vece, sul medesimo modello; o non invocare modello alcuno, limitandosi a la descrizione dei fenomeni.

***

§ 4. — Ma, senza insistere su questo punto, mi basta di rilevare, come resultato della lezione presente, la completa analogia di costituzione fra i raggi elettromagnetici e quelli della luce bianca.

LEZIONE TREDICESIMA.

Fenomeni di polarizzazione — Prisma del Nicol e specchio del Hertz — Lamina di tormalina e reticolo — Polarizzazione per riflessione.

§ 1. — Noi ci siamo occupati finora di fenomeni, che dipendono da le proprietà quantitative o, come si potrebbe anche dire, algebriche della radiazione elettromagnetica.

Passeremo a considerare, in questa e nella ventura lezione, alcuni fatti, che valgono, in vece, a rischiarare la natura geometrica dei raggi luminosi e dei raggi del Hertz. E' uno dei resultati della fisica moderna di aver posto in chiaro che le condizioni e le perturbazioni, che occorrono nella natura, si possono classificare tutte in due grandi categorie, quella dei *vettori* e quella degli *scalari*. La differenza fra vettori e scalari consiste in questo che i primi hanno una grandezza e una direzione; i secondi hanno bensì una grandezza, ma nessuna direzione assegnabile.

Ne segue che i vettori si debbono rappresentare con segmenti e gli scalari con numeri.

Per esempio, una velocità, una forza magnetica, un flusso di calore sono vettori; una massa, un potenziale elettrostatico, una temperatura sono grandezze scalari.

Ora, poi che abbiamo riconosciuto che la luce, e il calore, e i raggi di forza elettrica risultano da qualche cosa, che si sposta in linea retta, con velocità finita (*), ci si

(*) Si confronti in proposito la lezione ottava.

presenta la quistione se questo qualche cosa sia di natura scalare o vettoriale.

Ove si riconoscesse che si tratta di vettori, si potrebbe poi domandare se la loro direzione abbia o no qualche rapporto fisso con quella della propagazione.

Cominciamo ad esaminare il caso della luce. Davanti a la solita lanterna di proiezione, che illumino ora con l'arco voltaico, ho collocato un piccolo apparecchio, al quale si dà il nome di prisma del Nicol (*). Non mi fermo ora a spiegare minutamente come questo prisma sia lavorato, e come si possa intendere il suo modo di funzionare. Dirò soltanto che si tratta di due pezzi di spato di Islanda, tagliati, secondo certe direzioni ben determinate, in un cristallo naturale, e riuniti uno a l'altro con uno strato sottile di balsamo del Canadà.

Le due faccie estreme sono piane e parallele. Il prisma, che impiego, è munito di un'armatura cilindrica d'ottone, che mi permette di adattarlo a la lanterna. Volendo lo potrò far girare sopra sè stesso, intorno ad un asse orizzontale.

Tutta la luce, che l'arco emette, per uscire a l'aperto, è obbligata ad attraversare il Nicol.

Orbene, davanti a questo primo prisma ne voglio mettere un secondo, in tutto uguale. E' portato da un sostegno e può compiere lo stesso movimento, di che è suscettibile quel primo. Da ultimo aggiungo ancora una lente, che mi dà su lo schermo un campo luminoso chiaramente limitato. La grossa lastra di zinco, forata, che sta fra la lente e l'ultimo Nicol non ha altro ufficio che di trattenere i raggi, i quali hanno attraversato il primo prisma e non il secondo.

In questo istante, come dicevo, lo schermo è vivamente illuminato. Senza portare nessun'altra modificazione a l'apparecchio, giro adagio, con la mano, il primo Nicol.

(*) Qualche volta, per brevità, lo si chiama anche *Nicol*, senz'altro.

Questo movimento produce un effetto curioso. L'intensità del campo illuminato su lo schermo si modifica a poco a poco e, propriamente, nel nostro caso, diminuisce. Finchè, dopo un certo tempo, si arriva a l'oscurità completa.

Vado avanti ancora; e giro sempre nello stesso senso. La luce ricompare, pallidissima da prima, e poi successivamente più intensa. Ad un certo istante raggiunge uno splendore massimo, quindi accenna a diminuire di nuovo. Se avessi mezzo di fare delle misure un po' accurate, troverei che, fra l'oscurità assoluta e il massimo della luce, il prisma ha girato esattamente di novanta gradi, cioè di un angolo retto. Continuando nel movimento di rotazione, si trova un altro minimo dell'intensità a centottanta gradi dal primo, e poi da capo un massimo dopo altri novanta gradi. Così si torna press'a poco al punto dal quale siamo partiti.

Vi sono dunque in un giro intero quattro posizioni singolari, e ciascuna di esse dista di un angolo retto da quella, che la precede. A queste posizioni singolari corrispondono alternativamente dei massimi e dei minimi della luminosità.

In vece di girare il primo Nicol avrei potuto tenerlo fermo e far muovere il secondo. Il resultato sarebbe stato esattamente il medesimo. Si sarebbero incontrate le stesse alternative di luce e di oscurità. La presenza dei due prismi è necessaria perchè questi fatti si verifichino. Se ne tolgo via uno e lascio l'altro, e lo faccio rotare su sè stesso, lo schermo rimane sempre illuminato ad un modo.

Fermiamoci un momento sopra queste esperienze. Si intende subito che esse bastano già per risolvere la quistione, che c'eravamo proposta.

In fatti si possono esprimere, almeno in parte, i resultati ottenuti da noi, dicendo che il raggio, che esce dal primo Nicol, ha delle proprietà differenti in diversi piani, passanti tutti per la direzione di propagazione. Ora è manifesto che non si dovrebbe verificare niente di simile

Perchè
Passando traverso al Nicol
la radiazione luminosa si polarizza
213

quando la perturbazione, che costituisce la luce, fosse di sua natura scalare. Quel qualche cosa, che si propaga lungo un raggio di luce, è dunque un vettore.

Resta a vedersi quale sia la sua direzione. Anche questo possiamo dire, entro certi limiti. E di vero, si supponga che il vettore luminoso sia comunque inclinato sopra il raggio. Si potrà sempre scindere in due componenti, delle quali una stia secondo la direzione di propagazione, e l'altra le sia normale. Ora è chiaro che la componente trasversale si trova, in massima, in condizioni differenti rispetto a due piani passanti pel raggio; la componente longitudinale no. Ne segue che, se componente longitudinale vi fosse, questa dovrebbe comportarsi sempre ad un modo, e non risentire alcun effetto da la rotazione del primo Nicol. E siccome in un certo istante la luminosità si annulla, bisogna concludere che non vi è componente secondo il raggio.

Il vettore luminoso è dunque normale a la direzione della propagazione. Più difficile riuscirebbe assegnare dove sia realmente questo vettore nel piano normale. In un certo senso la cosa è anzi impossibile, e si rimane sempre in dubbio fra due direzioni, ortogonali una a l'altra. Ma una tale ricerca non ci interessa direttamente, e gli svolgimenti, che essa richiede, ci porterebbero troppo lontano.

§ 2. — Passo, in vece, a lo studio di un altro fenomeno, che si collega direttamente con quelli, che abbiamo constatato or ora.

Giro il primo Nicol in modo che la luce si spenga del tutto; quindi colloco fra i due prismi un sostegno, recante una lamina sottile di tormalina. La tormalina, come sapranno, è un silicato di magnesia e di ferro, che cristalizza nel sistema esagonale. La laminetta, che ho quì, giallo-verde per trasparenza, ha le faccie piane e parallele; esse appartengono ad una giacitura, che contiene la direzione dell'asse cristallografico.

Vedono subito come l'interposizione della tormalina

si manifesta. Lo schermo, che era completamente al buio, si è ora illuminato di una pallida luce verdognola. Il sostegno della laminetta è affatto simile a quello del secondo Nicol; sicchè posso farla girare sopra sè stessa nel suo piano. Se eseguisco questo movimento, l'intensità del campo illuminato su lo schermo si va mutando, e raggiunge dei massimi e dei minimi. In questi la luce si spenge totalmente.

Il fenomeno è dunque simile, nelle linee generali, a quello, che ottenevo prima girando uno dei due Nicol. Ma non è in tutto il medesimo. Se facessi ora delle misure troverei che fra un massimo ed un minimo consecutivi la lamina rota di quarantacinque gradi soltanto, vale a dire di un mezzo angolo retto. Le esperienze, che ho fatto fin quì con la luce, potrei ripeterle con il calore raggiante; l'arco voltaico potrebbe servire benissimo come sorgente termica. Solamente non si impiegherebbe più lo schermo, ma anzi, subito dopo il secondo Nicol, andrebbe posta la pila termoelettrica, collegata al galvanometro.

Non sto a fare queste esperienze, nelle quali non vi è opportunità di imparare a conoscere nessuna disposizione nuova. Dirò soltanto che si trovano pel calore esattamente gli stessi fatti che per la luce. E se ne tirano, come è naturale, le stesse conseguenze.

§ 3. — Ora vengo senz'altro a lo studio dei raggi di forza elettrica. Il modo nel quale si conduce la ricerca in questo caso, è in sostanza quello stesso di prima. Però gli apparecchii sono alquanto differenti.

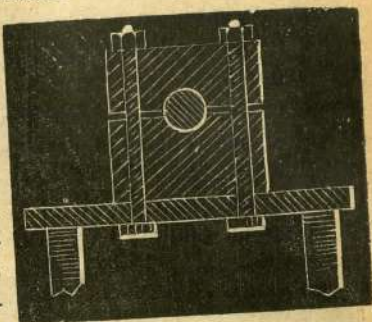
Lo specchio che contiene l'eccitatore non riposa più, come sempre finora, su le sue quattro gambe; ma è posto in condizione da poter girare intorno ad un asse orizzontale.

A le armature, destinate a conservare a la lastra di zinco la forma di cilindro parabolico, abbiamo fermato a vite una tavoletta robusta di legno di noce, da la quale si stacca, normalmente, un grosso cilindro pure di noce. Avrà forse otto o nove centimetri di diametro. Questo

asse è sostenuto da due cuscinetti, assicurati sopra un tavolino (fig. 91) (*).

Presentemente la linea focale dello specchio è verticale; e l'eccitatore è così alto dal suolo come di solito.

Fig. 91.

Quanto a lo specchio del secondario sta in faccia a l'altro; e nulla è mutato in esso. Dispongo la pila secca e l'elettroscopio come sempre; e proietto quest'ultimo nel modo consueto. Le paglie, divergendo, accusano una carica. Faccio agire il rocchetto. Scoccano delle scintille nel risonatore, e le paglie si riuniscono; come abbiamo verificato tante volte.

Ora comincio ad inclinare lo specchio primario, girandolo intorno al suo asse. Quando la linea focale è prossima a l'orizzonte, le foglie dell'elettroscopio si staccano subitamente, indicando che il flusso delle scintilline è sospeso.

Purtroppo il mezzo di dimostrazione, che impieghiamo, non permette di riconoscere un andamento graduale nel fenomeno. Appare distinto solamente quel punto, in cui le scintille cessano di passare. Se ci servissimo di un altro procedimento più delicato, se, per esempio, misurassimo in ogni istante la lunghezza delle scintilline secondarie, ciò che naturalmente ciascuno dovrebbe fare per suo conto, a la sua volta, troveremmo che l'azione dell'eccitatore sul risonatore diminuisce gradualmente fino ad annullarsi, quando l'eccitatore passa da la posizione verticale a la orizzontale (41).

Se continuo a girare, finchè lo specchio primario è

(*) Si confronti la figura 59. La figura 91 corrisponde a la sezione *A B* di quest'ultima.

capovolto, le scintille tornano a passare; e le foglie cadono, ancora una volta, una su l'altra.

In poche parole si ripetono quì le stesse alternative, che si avevano, in seguito al movimento del primo Nicol, nell'esperienza che ho fatto poco fa con la luce dell'arco voltaico.

L'analogia sussisterebbe ancora se, in vece, di girare lo specchio primario, facessi rotare il secondario; si ripeterebbero quegli stessi fenomeni, che nascevano da le rotazioni del secondo Nicol.

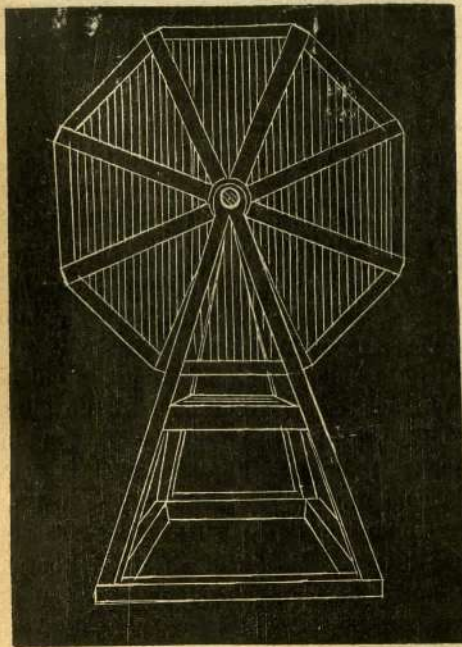
Bisogna dunque concludere che anche i raggi di forza elettrica si riducono a la propagazione di un vettore trasversale.

Fig. 92.

§ 4. — Ma procediamo innanzi.

Il Hertz ha trovato (41) delle disposizioni semplici, che permettono di fare, con questi nuovi raggi, anche un' esperienza simile a quella della lamina di tormalina.

Ricordano che dianzi ponevo i due Nicol in tale posizione che dal secondo non uscisse più luce. Ora, terrò orizzontale la linea focale dello specchio primario, così che il risonatore non sia per nulla eccitato. Le paglie del-

l'elettroscopio restano aperte, anche se il rocchetto funziona. L'apparecchio, che tiene nel caso presente il posto della lamina di tormalina è questo (fig. 92). Si tratta, come vedono, di un ottagono regolare, fatto con alcune assicelle di legno d'abete. Da ogni vertice partono delle aste leggere, che si riuniscono tutte nel centro, fermandosi contro una tavoletta. Questa è traversata normalmente da un asse, che riposa su due forchette. Sicchè l'ottagono può rotare sopra di sè nel suo piano. E' chiaro che, se gli faccio assumere una tale posizione che una coppia di lati sia orizzontale, e poi lo giro finchè divenga parallela a l'orizzonte la coppia dei lati seguenti, la rotazione impressa sarà a punto di quarantacinque gradi. Al telaio ottagonale sono assicurati molti fili di rame, paralleli fra loro e normali tutti a due lati; ognuno dista da quello che lo precede di due centimetri circa.

Interpongo questo *reticolo* fra i due specchi, con il piano normale a la direzione del raggio ed i fili verticali. L'elettroscopio non dà segno di scintille. Vuol dire che, messo così, il reticolo non altera nulla. Ma se lo giro di quarantacinque gradi le paglie si congiungono, cioè il secondario si eccita. Ogni cosa ritorna in quiete se la rotazione arriva ad un angolo retto. E così di seguito. Quindi l'analogia annunziata sussiste.

§ 5. — A questo punto è conveniente di fare un'osservazione.

Ho detto dianzi che è indispensabile la presenza di *due* Nicol per la riuscita dei nostri esperimenti. Ciò significa, in altre parole, che, nella luce *ordinaria,* in quella, che la lanterna emette, non vi è modo di distinguere uno da l'altro i piani, i quali contengono il raggio.

Ma, passando a traverso al primo Nicol, la radiazione luminosa si altera in qualche modo o, come si suol dire, si *polarizza*. E solamente la luce polarizzata è paragonabile con i raggi del Hertz, solamente di essa si può concludere che risulta da la propagazione di una grandezza vettoriale.

Volendo supporre, come è logico di fare, che qualche cosa di simile avvenga per la luce ordinaria, bisognerà ammettere che nei raggi di questa siano sovraposti molti vettori, distribuiti uniformemente. L'ufficio del prisma del Nicol consisterebbe nel propagare la componente di tali vettori, che è secondo una certa direzione, annullando la componente normale.

Vi sono delle buone ragioni per ritenere che il meccanismo del fenomeno sia questo.

Accennavo poco fa che i prismi del Nicol sono formati di spato d'Islanda.

Tale sostanza presenta, come è noto, il fenomeno della doppia rifrazione. Quando, cioè, un raggio di luce penetra in uno di questi cristalli, esso si scinde, generalmente, in due, che emergono distinti.

Orbene, si trova che i raggi emergenti sono polarizzati, e il vettore luminoso di uno di essi è normale a quello dell'altro. Si può quindi pensare che lo spato d'Islanda abbia separato tutti i vettori della luce incidente in due componenti ortogonali, che si propagano ciascuna per suo conto.

Il fatto stesso della doppia rifrazione dimostra che i due raggi nel cristallo hanno velocità differenti. Ed è possibile rintracciare delle sostanze, nelle quali la radiazione luminosa abbia una velocità compresa fra quelle due. Il balsamo del Canadà si trova a punto in questo caso.

Ma si sa che quando la luce passa da un mezzo nel quale procede con relativa lentezza, ad un altro nel quale è più veloce, può intervenire il fatto della riflessione totale. Quindi si intravede la possibilità di eliminare uno dei due raggi, che si producono nello spato d'Islanda, sezionando opportunamente il cristallo, e riunendone i pezzi con uno strato di balsamo del Canadà (*).

(*) In pratica il problema è reso più complesso dal fatto che la velocità di uno dei due raggi, dentro lo spato d'Islanda, cambia con la direzione.

A punto secondo questo concetto si preparano i prismi del Nicol, come accennavo in principio della lezione.

Non insisto su l'argomento, e non faccio nemmeno esperienze su la doppia rifrazione della luce, perchè tanto non sarebbe possibile di studiare nello stesso modo i raggi del Hertz. I cristalli, che noi possediamo, sono troppo piccoli per questo.

Ciò non vuol dire che i mezzi birifrangenti per la luce non lo siano anche per i raggi elettromagnetici; solo non si possono dare del fenomeno delle prove dirette.

Ne vedremo alcune di indirette, ma pure pienamente convincenti, nella lezione prossima.

§ 6. — Ora passo a dimostrare una proprietà dei raggi luminosi, della quale anche ci dovremo servire.

Vi è un altro modo per polarizzare la luce, che si ricollega con il fenomeno della riflessione.

Si trova in fatti che i raggi, che una superficie speculare rimanda, sono completamente polarizzati ogni volta che la riflessione si faccia sotto un angolo, il quale varia bensì con la sostanza dello specchio, ma è per ogni sostanza una costante caratteristica.

Questo fenomeno si può utilizzare in tutti quei casi, dove torni necessario conoscere la direzione del vettore luminoso, almeno per quanto ciò è possibile. Si capisce in fatti, senz'altro, per pure ragioni di simmetria, che nella luce polarizzata, ottenuta con riflettere il raggio, la perturbazione vettoriale sarà normale al piano di incidenza o giacerà in esso. Altrimenti non si potrebbe individuarne la direzione.

È chiaro d'altra parte che, almeno per ora, non si saprà scegliere fra le due soluzioni possibili.

In pratica il fenomeno della polarizzazione per riflessione si studia con un piccolo apparecchio, dovuto al Nörrenberg.

Da un piede rettangolare di legno (fig. 93) si levano due colonnine d'ottone, a le quali è assicurato anzi tutto lo specchio, girevole intorno ad un asse orizzontale.

Più in alto, al sommo delle colonne, sta una piattaforma d'ottone, che regge un prisma del Nicol, il quale può rotare, a la sua volta, intorno ad una retta verticale.

Fig. 93.

Finalmente fra il Nicol e lo specchio, è ancora interposta una seconda piattaforma, forata nel mezzo, su la quale si può collocare un diaframma, quando importi restringere il campo luminoso, o pure qualunque corpo, che si voglia far attraversare da la luce polarizzata.

Dispongo davanti a lo specchio una candela accesa, a tale altezza che l'immagine ne sia rimandata al Nicol sotto un angolo di cinquantacinque gradi a l'in circa. Questo è, per il vetro, l'angolo sotto il quale si fa la polarizzazione totale (*). Così l'apparecchio è pronto per l'esperienza.

Se adesso uno di Loro accosta l'occhio al prisma, e fa rotare questo lentamente, vedrà il campo passare per massimi e minimi di luminosità ad ogni quarto di giro.

I minimi sono affatto oscuri, e però i raggi della luce riflessa, nelle condizioni attuali, si comportano a punto come quelli, che sono passati a traverso ad un prisma del Nicol. Abbiamo dunque il diritto di dire che si tratta, ancora nel caso presente, di raggi polarizzati.

(*) L'angolo in quistione varia con la lunghezza dell'onda; il valore qui riportato si riferisce a la parte più luminosa dello spettro visibile. Per certi raggi ultrarossi l'angolo stesso sarebbe alquanto più grande; si confronti in proposito la lezione decima.

Si è presa l'abitudine, parlando della luce polarizzata in questo modo, di chiamare piano di *polarizzazione* il piano di incidenza, nel quale il raggio incontrò lo specchio polarizzatore.

Ora si è trovato che se la luce, polarizzata per riflessione, incontra una seconda superficie speculare, per modo che il nuovo piano di incidenza sia normale al piano di polarizzazione, è sempre possibile scegliere l'angolo, sotto il quale il raggio incide, in modo che non vi sia raggio riflesso.

Di proprietà analoghe godono la luce, che ha attraversato un prisma del Nicol, e le onde del Hertz. Propriamente si riconosce che, anche per tali radiazioni, vi è un piano e un angolo di incidenza, che impediscono la riflessione. E però in questi casi si può ancora definire il piano di polarizzazione (42).

Ma per i raggi del Hertz vi è modo di concludere qualche cosa di più. Il raggio elettromagnetico risulta in fatti dal propagarsi della forza elettrica; e di questa si sa assegnare a priori la direzione, che è quella dell'eccitatore.

L'esperienza permetterà dunque di decidere come sia disposta la forza rispetto al piano di polarizzazione. Si trova che gli è normale.

Quando si voglia ammettere l'identità di natura fra i raggi luminosi e i raggi del Hertz, la stessa conclusione si dovrà estendere, senz'altro, al caso della luce.

* * *

§ 7. — Il resultato, ottenuto oggi da noi, si enuncia affermando che la perturbazione luminosa e la elettromagnetica sono grandezze vettoriali; anche si può, in un certo senso, riconoscere come siano dirette nello spazio.

LEZIONE QUATTORDICESIMA.

Composizione delle vibrazioni — Fenomeni di polarizzazione cromatica — Azione del gesso su la luce e sopra i raggi del Hertz — Altri sistemi birifrangenti.

§ 1. — Parecchie volte, nelle lezioni passate, abbiamo dovuto occuparci dei fenomeni, a i quali dà luogo il sopraporsi di due vettori periodici, pendolari. Così, per esempio, quando si studiarono i fatti dell'interferenza.

Nei nostri esperimenti si componevano, in ogni caso, le perturbazioni di due raggi di luce ordinaria, o pure di due raggi del Hertz, nei quali le forze elettriche erano parallele. Si intende bene che, dal punto di vista geometrico, il primo di questi fenomeni si riduce senz' altro, al secondo.

Vogliamo passare oggi a l'esame di un problema completamente nuovo; e, cioè, ci vogliamo domandare quali apparenze devono originarsi da la composizione di due vettori periodici, pendolari, ed ortogonali.

Ci limiteremo al caso, per noi più interessante, nel quale il periodo delle due perturbazioni è il medesimo.

In pratica i fatti, che i nostri ragionamenti ci faranno prevedere, si potranno realizzare con sopraporre due raggi di luce polarizzata, o due raggi del Hertz, con i piani di polarizzazione ortogonali.

Questo studio, che noi si intraprende ora, potrebbe farsi con considerazioni puramente analitiche, o cinematiche; ma io preferisco, per rendere le cose più ovvie e meglio comprensibili, esaminare un modello dei fenomeni, e ragionare su questo.

E fra gli infiniti modelli, che possediamo delle perturbazioni periodiche, scelgo il più semplice di tutti, vale a dire il pendolo.

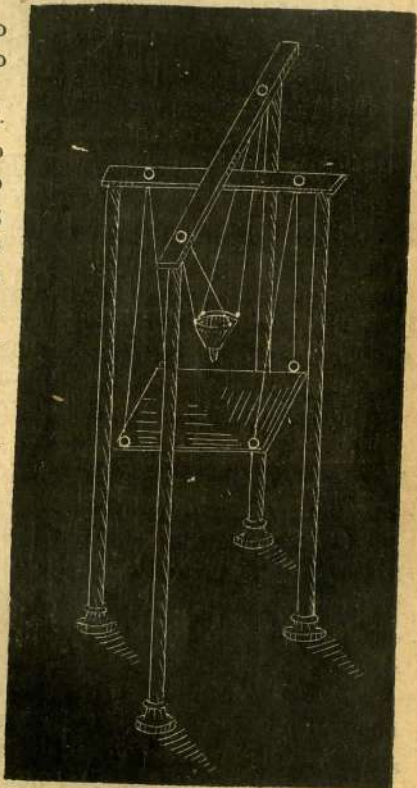
Ecco come, al caso pratico, si dispongono le cose.

Due sostegni verticali, di legno, reggono un'asta, che ho disposto orizzontalmente (fig 94); a questa, con quattro funicelle, concorrenti due a due, è raccomandata una tavoletta, anch'essa di legno.

Fig. 94.

Le funi sono di tale lunghezza che la tavoletta, se la si lascia nella sua posizione d'equilibrio, riesce orizzontale.

Quando l'allontano da codesta posizione e l'abbandono, essa comincia naturalmente ad oscillare. E bene, tale sistema corrisponderà per noi ad una delle perturbazioni, che si vogliono comporre.

Vediamo come si rappresenti la seconda.

A due sostegni, simili in tutto a quei primi, adatto da capo una traversa orizzontale, e dispongo questa perpendicolarmente a l'altra, un poco più in alto.

E poi, con quattro pezzi di spago, sospendo a la nuova traversa un anello di piombo, che regge un imbuto. L'imbuto è di vetro, e il suo collo fu tirato a la fiamma per modo che gli resta, in fondo, un foro di pochi millimetri.

Quì abbiamo, come si intende, un altro pendolo; il quale sarà a punto il modello per il secondo vettore periodico. Ho scelto la lunghezza delle funi per modo che le durate d'oscillazione della tavola e dell'imbuto sono uguali, sensibilmente. L'apparecchio soddisfa dunque a tutte le condizioni del problema, che vogliamo risolvere.

Resta a trovarsi un artificio, il quale ci permetta di inscrivere, volta per volta, le figure, che nascono da la composizione dei due movimenti.

A tale uopo, seguendo il Righi (43), verserò dentro l'imbuto un po' di sabbia; e questa, scendendo per il foro sottile, segnerà su la tavoletta una traccia.

Se, per cominciare, tengo ferma la tavola e metto in movimento l'imbuto, si produce, come vedono, un tratto rettilineo, molto ben definito. Ad ogni mezza oscillazione il sistema oscillante rifà il suo cammino, e le traccie si soprapongono.

Qualche cosa di molto simile si ottiene quando, in vece, la tavoletta si muove e l'imbuto rimane in riposo. Ma il segmento, sopra il quale si dispone la sabbia, è perpendicolare a l'altro, che s'era tracciato nella prima esperienza.

Andiamo avanti e cerchiamo di produrre qualche fenomeno più complesso. Perchè le figure rimangano ben chiare, io procurerò sempre che siano descritte nel tempo di un'unica oscillazione. A l'uopo faccio che l'imbuto si muova liberamente, e allontano la tavoletta da la posizione del riposo, e la tengo ferma con la mano. Poi l'abbandono ad un dato istante, ma sto pronto ad afferrarla e tratte-

nerla, quando essa torna la prima volta, dove l'avevo tenuta da principio.

Vedono quale sia il resultato della composizione dei due movimenti. Non abbiamo più delle traccie rettilinee, ma bensì una linea curva, chiusa, di forma ovata, che è precisamente una ellissi.

Se ripeto molte volte l'esperienza, lasciando andare la tavoletta quando l'imbuto è arrivato a diversi punti della sua corsa, o pure dandole, da principio, uno spostamento più o meno grande, le figure, tracciate da la sabbia, non sono sempre uguali, ma anzi differiscono per la forma, e per la grandezza, e per l'orientazione. Bensì la natura delle curve rimane la stessa; tutte quante sono ellissi.

Questo si può dunque considerare come un resultato generale della nostra ricerca; che, cioè, componendo due vettori periodici, ortogonali, di uguale periodo, e direzione costante, si ottiene un vettore il quale rota in un piano, e muta di lunghezza per modo che la sua estremità percorre una ellissi.

§ 2. — Si sa bene che l'ellissi comprende come casi particolari il segmento di retta e il cerchio. Propriamente si riduce ad un segmento rettilineo, contato due volte, se uno degli assi tende a la lunghezza zero; e degenera in un cerchio, se i due assi doventano uguali.

Interessa di cercare sotto quali condizioni la risultante di due vettori ortogonali avrà una direzione fissa, o pure, in vece, una grandezza costante. Si capisce che questi due casi corrispondono a punto a la retta e al cerchio.

Per risolvere la quistione comincio a spostare, come dianzi, la tavoletta, quindi pongo in movimento l'imbuto.

Mentre sollevavo la tavoletta la sabbia ha tracciato sopra di essa un segmento, ed ora, per il moto dell'imbuto, ne traccia un altro, ortogonale al primo.

Colgo l'istante in cui il secondo sistema giunge a l'estremo della sua corsa, e abbandono l'assicella. La sabbia segna di nuovo un tratto rettilineo, inclinato sopra i due di prima.

Ora la tavola, quando il suo moto comincia, si trova sempre a la massima elongazione. Si ha dunque una retta, in luogo di una ellissi più generale, quando le due oscillazioni, che si compongono, cominciano insieme, o, come si dice, sono *coincidenti di fase.*

Ma è chiaro che un resultato simile avrei ottenuto, se avessi aspettato a muovere la tavoletta quando l'imbuto fosse giunto a l'altro estremo della sua oscillazione. In tale caso dobbiamo dire che i due sistemi sono in ritardo uno su l'altro di un mezzo periodo.

E si potrà concludere, in generale, che la resultante di due vettori periodici deve conservare la sua direzione, tutte le volte che i due sistemi sono in ritardo, uno su l'altro, di un numero intero di mezzi periodi.

Cerchiamo adesso di ottenere dei cerchii.

Riprendo l'esperienza da capo. E, come prima, descrivo i due segmenti rettilinei ortogonali.

Si capisce che il punto, dove queste rette si incontrano, segna la posizione d'equilibrio del secondo sistema oscillante.

La lunghezza, che corre di quì a l'estremo del tratto, prodotto da lo spostamento della tavoletta, o pure l'altra distanza, che intercede fra lo stesso punto e il termine di uno dei due segmenti (per diritto), generati dal moto dell'imbuto, mi rappresentano ciò, che posso chiamare le ampiezze (*) delle due vibrazioni.

E bene, io voglio comunicare a l'imbuto un tale impulso che queste ampiezze risultino uguali.

E poi lascio partire la tavola nell'istante a punto, in cui il sistema oscillante ripassa per la posizione del riposo. Vedono che la sabbia disegna un cerchio perfetto.

Nel caso presente la curva fu descritta nel senso, nel quale girano gli indici dell'orologio, e il movimento della tavola incominciò quando l'imbuto passava pel punto di

(*) Si confronti la lezione dodicesima.

quando un pendolo (imbuto) è in posizione verticale e l'altro (tavoletta) è all'estremo in alto dello spostamento la differenza è di 1/4 di periodo

mezzo della sua escursione, procedendo da la mia sinistra verso la mia destra.

Posso ripetere l'esperienza, cogliendo l'istante del passaggio in senso opposto. Ottengo ancora un cerchio, ma questa volta è descritto contrariamente a gli indici dell'orologio.

E' manifesto che i nuovi resultati si devono enunciare dicendo che due vettori periodici, ortogonali, si compongono in un vettore di grandezza costante, ogni volta che le loro ampiezze sono uguali, e l'uno è in ritardo su l'altro di un numero dispari di quarti di periodo.

§ 3. — Quando si vogliono riprodurre, nel modo che ho accennato in principio della lezione, impiegando cioè due raggi di luce o due raggi del Hertz, i fatti, che abbiamo riconosciuto ora sul modello, non si potrà naturalmente fare uso di due sorgenti distinte. Perchè non vi sarebbe il mezzo per regolare le ampiezze dei vettori e il ritardo relativo.

Si incontra quì una difficoltà analoga a quella che si offerse a noi nello studio dei fenomeni di interferenza (*). Il modo d'evitarla è il medesimo. Bisogna ricavare da uno stesso raggio i due vettori, che si devono sopraporre.

Questo si potrà fare, manifestamente, per la luce, con l'impiego di un corpo birifrangente.

Si supponga in fatti che un raggio polarizzato cada per diritto sopra una laminetta, a faccie piane e parallele, tolta a punto ad un cristallo, che presenti il fenomeno della doppia rifrazione. Il vettore incidente si decompone secondo due direzioni fisse, ortogonali, e le due componenti si propagano, ciascuna per suo conto, con velocità diverse.

Essendo diverse le velocità saranno pure disuguali le lunghezze delle onde (**), quindi, nello spessore della la-

(*) Si confronti la lezione nona.

(**) Si confronti la lezione nona.

mina, staranno, lungo uno dei due raggi, più onde che lungo l'altro. E' quanto dire che, a l'uscita, il secondo vettore sarà in ritardo sul primo.

E, scegliendo convenientemente la lamina, si potrà fare che il ritardo importi un numero intero di mezzi periodi, o pure un numero dispari di quarti di periodo.

Nel primo caso si avrà di nuovo un raggio di luce polarizzata; nel secondo, ove l'ampiezza delle due componenti sia la stessa, si otterrà della luce, nella quale il vettore luminoso si mantiene costante in grandezza, e rota in un piano normale a la direzione della propagazione.

L'uguaglianza di ampiezza poi, fra i due vettori, dentro il cristallo, si raggiunge girando la lamina, in guisa che il piano di polarizzazione del raggio incidente bisechi l'angolo compreso fra le loro direzioni.

Per fare le esperienze mi valgo dell'apparecchio del Nörrenberg, che ho descritto nell'ultima lezione (*).

Come allora prendo per sorgente una candela, e ne regolo l'altezza per modo che la luce arrivi polarizzata al prisma del Nicol. Quindi giro quest'ultimo, fino a che il campo doventi affatto buio.

E poi, su la piattaforma di mezzo, dispongo una laminetta, ricavata da un cristallo di gesso.

Se uno di Loro accosta l'occhio a l'orifizio del Nicol vedrà, probabilmente, che è tornata la luce. E se ne intende subito il perchè.

Il vettore luminoso, che emerge da la lamina cristallina, descrive con la sua estremità un'ellissi; ha dunque una proiezione non costantemente nulla sopra ogni retta del suo piano.

Questo almeno in generale. Perchè si può prevedere che il campo rimarrà oscuro per due posizioni della lastrina di gesso. Per quelle in cui le due direzioni possibili, per il vettore luminoso, sono una normale e l'altra paral-

(*) Si confronti la lezione tredicesima, fig. 93. pag. 216

lela al piano di polarizzazione della luce riflessa da lo specchio.

In questi casi si ha ciò, che corrisponde, nel modello, al moto di uno solo dei due sistemi oscillanti.

Quando poi si abbia, effettivamente, l'ellissi, si intende che la grandezza (massima) della proiezione dipenderà da la direzione, su la quale il vettore si proietta. In altre parole, girando il Nicol, si deve osservare un cambiamento nella luminosità del campo.

E' ciò che si verifica facilmente con il nostro apparecchio.

Si trova, di più, che, in un giro intero, vi sono due massimi e due minimi, i quali si alternano a novanta gradi di distanza.

E' manifesto (*) che i massimi si devono verificare quando il piano di polarizzazione della luce, che traversa il Nicol, contiene l'asse minore dell'ellissi; e i minimi, invece, quando in quel piano giace l'asse maggiore.

Il ritardo di uno dei due raggi su l'altro, a l'uscire da la laminetta cristallina, dipende, essenzialmente, da lo spessore della lamina e da la natura della sua sostanza. Ma il rapporto fra il ritardo e il periodo varia, come è naturale, con quest'ultimo. Quindi le condizioni della composizione sono molto diverse per le varie onde; e se si osserva in luce bianca, come è il caso nostro, la lamina appare colorata.

Per questo i fatti, che stiamo studiando, si chiamano comunemente fenomeni di *polarizzazione cromatica*.

Si capisce che tali apparenze potranno servire, quando si voglia riconoscere se un mezzo è, o meno, birifrangente. Sopra tutto in quei casi, nei quali la separazione dei due raggi non è così netta come nello spato d'Islanda, o pure non si possiede un cristallo abbastanza grande per produrla.

(*) Almeno se si suppone che il vettore luminoso sia normale al piano di polarizzazione (si confronti la lezione tredicesima).

§ 4. — Quest'ultima difficoltà si presenta a punto, come notavo nella scorsa lezione, quando si vuole studiare il comportamento dei cristalli naturali, rispetto a i raggi di forza elettrica.

Sembra dunque opportuno di ricorrere ad una disposizione analoga a quella, che fornisce i fenomeni di polarizzazione cromatica, per vedere di risolvere questo importante problema.

La cosa riesce bene con l'apparecchio, che ho disposto quì (44).

I circuiti, primario e secondario, dei quali mi servo, sono quelli del Righi. Propriamente l'eccitatore è lo stesso, che ho impiegato già altre volte; il risonatore ha una lunghezza di tre centimetri e sei decimi.

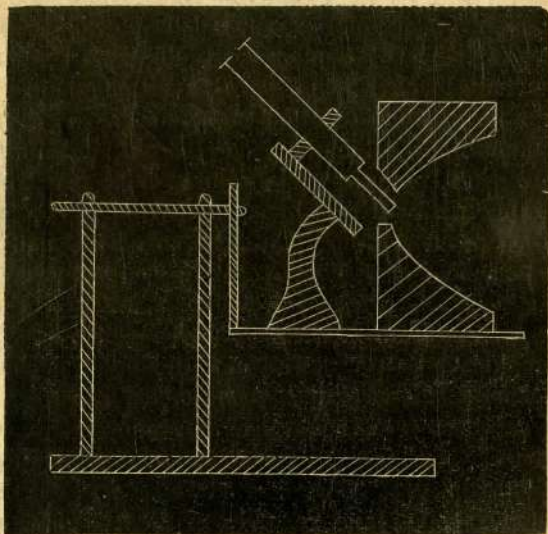



Fig. 95.

Il primo circuito è munito dello specchio sferico, nel modo consueto; il secondo ha uno specchio parabolico,

di cartoncino, coperto di striscie di stagnola (*). Questo riflettore secondario è disposto sopra una tavoletta, per modo che la sua linea focale riesca parallela al piano di essa. E quì si trova anche il microscopio, destinato a l'osservazione delle scintille.

La tavoletta poi è girevole intorno ad un asse orizzontale, sorretto da due cuscinetti (fig. 95).

Quando l'assicella è orizzontale, come in questo momento, l'eccitatore e il risonatore restano incrociati. E però, se anche il primo circuito lavora, il secondo rimane in quiete, e al microscopio non si osservano scintille.

Possiamo verificarlo subito, eccitando, con una macchina del Holtz, le scariche del primario.

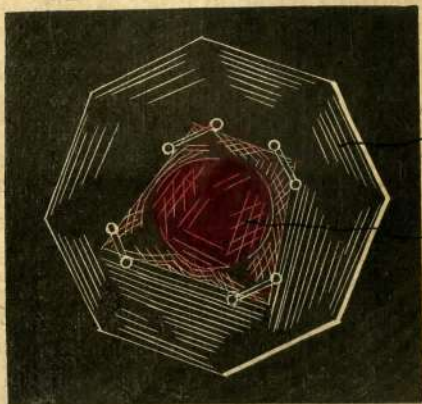
Ma le cose cambiano se, nello spazio interposto fra i due conduttori, si introduce una lamina cristallina.

Fig. 96.

Il corpo, che impiego per fare l'esperienza, è una grossa lastra di gesso. Avrà forse quattro centimetri di spessore.

L'ho fissata solidamente ad una larga lamina ottagonale di ferro, la quale ha, verso il mezzo, un foro circolare di dieci centimetri (fig. 96). Questo viene coperto a punto dal gesso.

Ho dato a la lamina di ferro la forma di un ottagono regolare, perchè sia facile imprimerle delle rotazioni di quarantacinque gradi. Si capisce in fatti che se, con la mano,

---

(*) Si confronti la lezione undicesima.

rizzo questo schermo, per modo che uno dei lati si appoggi sul tavolo; e poi lo roto, fino a che il lato seguente sia venuto in luogo di quel primo, avrò girato il sistema di un mezzo angolo retto (*).

Vediamo ora come l'esperienza riesce.

Uno di Loro può accostare l'occhio al microscopio, io metto in movimento la macchina del Holtz.

Adesso, naturalmente, non si vedono scintille. Introduco lo schermo, appoggiando sul tavolo uno dei lati della lamina; nemmeno ora le scariche passano. E bene, portiamo in basso il lato successivo e il secondario si ecciterà. Così accade in fatti.

Se ne conclude che il gesso è birifrangente per i raggi del Hertz, come lo è per la luce.

E notino che l'analogia nei due casi è completa. Per esempio, io posso ora lasciare in riposo lo schermo e far rotare, in vece, lo specchio secondario; ma in questo movimento non mi riesce di spengere le scintille indotte, bensì esse raggiungono due massimi e due minimi, molto chiari, ad ogni giro intero. E veramente i vettori elettrici, che emergono dal cristallo, si devono comporre in una forza, la cui estremità descrive un'ellissi.

§ 5. — In una lastrina di gesso le direzioni possibili per il vettore luminoso sono sensibilmente indipendenti da la lunghezza delle onde, su le quali si sperimenta.

Ce ne possiamo persuadere in un modo assai semplice. Io prendo una laminetta di gesso e la sfaldo parzialmente, così che essa abbia in diversi punti diversi spessori. E poi la colloco su la piattaforma dell' apparecchio del Nörrenberg.

Avevo avuto prima l'avvertenza di girare il Nicol in modo che il campo fosse oscuro. Ma adesso, senza dubbio, deve essere tornata la luce.

(*) Nel fissare la lastra di gesso, bisogna avere l'avvertenza di disporla in tale posizione che le due direzioni possibili, per la forza elettrica, nel cristallo, risultino normali a due coppie di lati.

Quello di Loro, che sta ad osservare, vedrà che le diverse regioni della laminetta brillano di colori diversi. È naturale che sia così, dal momento che, da punto a punto, varia lo spessore.

E bene, si provi ora a girare il cristallo; l'intensità della luce trasmessa cambia; fino a che, in un certo istante, tutti i colori si spengono, contemporaneamente. Questo è d'accordo con ciò, che avevo detto.

Ma quì nasce subito una quistione. Si può domandare in fatti se la cosa sarà sempre vera per i raggi del Hertz, se cioè le direzioni possibili per il vettore luminoso e quelle della forza elettrica coincidono o no.

È molto facile rispondere ad una tale domanda.

Poniamo fra i due specchii il nostro schermo, procurando che il secondario non si ecciti; e quindi, servendoci di un filo a piombo, tracciamo su la lastra di gesso una scalfittura verticale. Questa indicherà la direzione di una delle componenti, nelle quali si scinde ogni forza elettrica, che si propaghi entro il cristallo (*).

Ora sfaldiamo la grande lastra, in modo da ricavarne una laminetta sottile; e prendiamola a punto, dove si era praticata la scalfittura. Sicchè anche su questo pezzo staccato si avrà la traccia di quella direzione privilegiata.

La lastrina ora la portiamo su la piattaforma dell'apparecchio del Nörrenberg, e procuriamo che la traccia riesca parallela al piano, nel quale la luce, incidendo su lo specchio, si polarizza. Questo si fa agevolmente, perchè su la piattaforma sono incisi dei segni, in corrispondenza di tale piano.

Essendosi disposto, da principio, il Nicol a l'oscurità, ci dobbiamo aspettare che il campo rimanga buio, quando, nel gesso, le direzioni del vettore luminoso e del vettore elettrico siano coincidenti.

(*) Perchè l'eccitatore è verticale e il risonatore è disposto a novanta gradi da esso.

Ma basta accostare l'occhio al Nicol per riconoscere che ciò *non* accade; il campo è anzi vivissimamente illuminato. E per ridurci a l'oscurità bisogna girare la lastrina press'a poco di un mezzo angolo retto.

Questo vuol dire che, quando si passa dal caso della luce a quello dei raggi del Hertz, le direzioni, corrispondenti a i massimi e a i minimi, sono sensibilmente scambiate. Ho detto sensibilmente perchè, se si fanno delle misure un po' esatte, si trova che in realtà, le due coppie di direzioni privilegiate sono a quarantun grado, e non a quarantacinque, una da l'altra (45).

41°
pel gesso
e non 45°

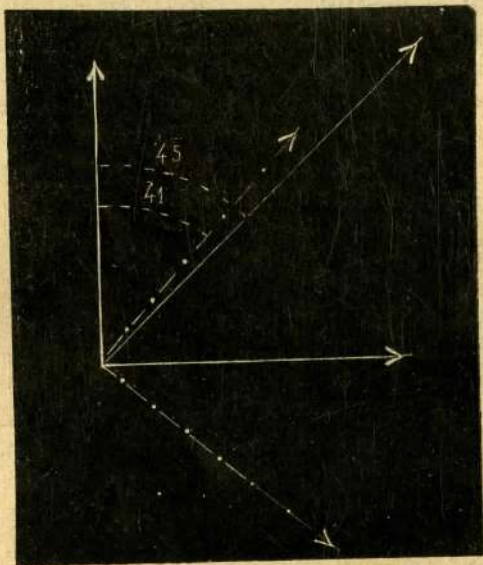



Fig. 97.

Questa tavola, che ho fatto disegnare (fig. 97), mostra a punto come stanno le cose.

In essa si può intendere che i segmenti a tratto continuo corti rappresentino i due vettori luminosi; allora i segmenti a tratto interrotto corrispondono a i vettori elet-

trici; e il segmento continuo lungo è la bissettrice dell'angolo compreso fra le prime due direzioni.

Il fatto, di cui parlo, è tanto più interessante perchè per altri cristalli esso non si verifica; bensì in essi la luce e i raggi del Hertz si comportano esattamente a lo stesso modo.

Sembra assai difficile rendere conto di questa azione anormale del gesso.

§ 6. — I raggi di forza elettrica passando a traverso a molte sostanze, opache per la luce, è interessante cercare se talune di queste, le quali hanno una struttura manifestamente non isotropa (*), presentino dei fenomeni di doppia rifrazione.

Una di tali sostanze sarebbe il legno.

E bene, fu trovato dal Righi (46), che questo corpo a punto è birifrangente per i raggi di forza elettrica. Le esperienze del Righi furono anzi le prime, nelle quali fosse posta in chiaro un'azione di questo genere.

Noi possiamo verificare agevolmente che una tavoletta di legno d'abete, tagliata parallelamente a le fibre, dà luogo a tutti quei fatti di polarizzazione cromatica, che abbiamo prodotto dianzi con una lastra di gesso. La direzione delle fibre è una delle direzioni privilegiate.

Questa proprietà del legno è assai preziosa in quanto ci fornisce un materiale birifrangente, che costa poco e si lavora con facilità.

Io ne tirerò partito per dimostrare loro la possibilità di produrre i fenomeni corrispondenti a i casi in cui l'ellissi degenera in una retta o pure in un cerchio (47).

Impiegherò a l'uopo due tavole di legno d'abete, di venticinque e quattordici centimetri di spessore. La prima si può chiamare *lamina di una mezz'onda* e l'altra *lamina di un quarto d'onda*.

Faccio agire la macchina del Holtz, tenendo per ora

(*) Cioè uniforme in tutte le direzioni.

i due conduttori incrociati, e interpongo la prima lamina.

Le scintilline al risonatore si producono, ma posso ridurle a zero, semplicemente rotando lo specchio secondario. E si capisce che deve essere così, se il raggio convergente ha un vettore a direzione costante, come l'incidente.

Passiamo a la lamina di un quarto d'onda. Questa la disponiamo fra il primo e il secondo circuito, in modo che le sue fibre sieno inclinate di sessantasette gradi su l'orizzonte (*). Adesso, se si osserva al microscopio, si vedono delle scintille assai chiare; ma non è possibile modificarne l'intensità, girando il risonatore. Perchè la lamina è così spessa che il vettore emergente rota nel suo piano e si conserva costante in grandezza.

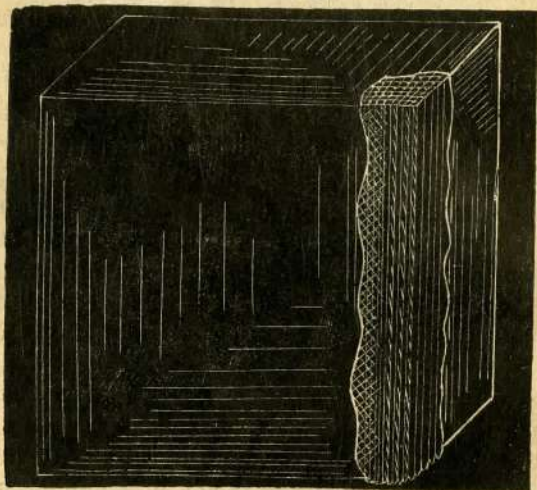



Fig. 98.

Assolutamente gli stessi fatti posso ottenere speri-

(*) Bisogna inclinare a sessantasette gradi, in vece che a quarantacinque, perchè l'assorbimento esercitato dal legno è nella direzione delle fibre assai più forte che in ogni altra.

mentando su la luce, con l'apparecchio del Nörrenberg; purchè io sostituisca a le tavole d'abete due lastrine di mica di spessore conveniente.

§ 7. — Ma la doppia rifrazione dei raggi di forza elettrica si può anche produrre con dei sistemi anisotropi artificiali.

Si ottiene uno di questi modelli di cristalli, disponendo parallelamente molte bacchettine di vetro e legandole con un po' di paraffina fusa (fig. 98).

In tale *corpo* la direzione delle bacchettine è una delle due possibili per il vettore elettrico (48).

Non è il caso di insistere troppo su questo argomento.)

* * *

§ 8. — Piuttosto conviene riassumere i resultati, a i quali siamo giunti nella presente lezione.

Essenzialmente: abbiamo trovato che certi cristalli sono birifrangenti per i raggi del Hertz, come lo sono per la luce.

E, valendoci di una proprietà dei corpi dotati di doppia rifrazione, abbiamo studiato i fenomeni, che nascono da la composizione di due vettori (luminosi od elettrici) ortogonali.

Cristalli birifrangenti quindi polarizzatori per i raggi hertziani

LEZIONE QUINDICESIMA.

Un altro modello per le molecole dei corpi — Azione dell'aria ionizzata sopra i conduttori elettrizzati e sopra le scariche.

§ 1. — In due delle scorse lezioni, mentre esaminavo le proprietà più notevoli del secondario del Hertz, e facevo vedere come, raccogliendo in uno spazio chiuso un certo numero di tali conduttori, si potessero riprodurre alcuni dei fatti più caratteristici, che seguono da l'azione della materia ponderale su la luce, accennai ripetutamente al carattere di *modello*, che veniva ad assumere per noi il risonatore.

Ora rammentano bene che, da la possibilità di rappresentare, in un modo determinato, un fenomeno della natura, non segue per nulla, in generale, che quel modo di rappresentazione sia unico. Anzi piuttosto il contrario.

Anche ricordano che, talora, l'imagine, che noi ci formiamo di un dato fatto, può coincidere con la realtà per alcuni caratteri, e non per altri; sicchè avviene che, fra gli infiniti modelli possibili per il fatto in quistione, si debba pure stabilire, in qualche modo, un ordine di accettabilità.

Ma, discorrendo della bella esperienza di Rubens e Nichols, ho già accennato come l'uso del risonatore del Hertz,

per rappresentare la molecola materiale, conduce incontro a certe difficoltà. Almeno se non si vogliono introdurre delle ipotesi sul valore delle quali è assai difficile di pronunciarsi.

E bene, voglio mostrare oggi in qual modo si possa, sempre dal punto di vista elettromagnetico, imaginare un modello delle molecole materiali, che a quelle obiezioni non è soggetto. Sarà dunque un modello preferibile a l'altro, sotto questo riguardo.

Quando riassumevo, da principio, le cose più importanti dell'elettricità, ho fatto anche un cenno del fenomeno dell'elettrolisi. Ho detto allora che, per intendere come le soluzioni saline conducano, bisogna ammettere che la molecola del sale si scinde in due parti, gli *ioni*, recanti cariche uguali ed opposte.

Il fatto poi che l'elettricità passa anche a traverso a i gassi si può interpretare nello stesso modo.

Possiamo immaginare invero che, in un tubo del Geissler, percorso da le scariche, avvengano dei fenomeni analoghi a quelli dell'elettrolisi.

Se la conducibilità cresce fino ad un certo punto con la rarefazione, questo dipende probabilmente da ciò che, in un gasse più rado, è maggiore il numero delle molecole già dissociate in condizione normale, o, come si dice, è maggiore la *ionizzazione*.

Questo modo di considerare le cose ha acquistato un alto grado di verisimiglianza, dopo che furono osservati dal Pringsheim, in un tubo a vuoto, dei fatti, analoghi in tutto a quelli della polarizzazione (*) elettrolitica (49).

§ 2. — Del resto l'esistenza delle cariche elettriche su le molecole gassose dissociate si può verificare direttamente in parecchii modi.

Suppongano di portare un conduttore elettrizzato posi-

(*) La polarizzazione è un fenomeno secondario susseguente a l'elettrolisi.

tivamente, per esempio, in un'atmosfera, che contenga un certo numero di atomi liberi. Il conduttore attrarrà quelli tra gli atomi, che hanno una carica negativa, e terrà lontani i positivi.

Quindi l'elettrizzazione, che abbiamo dato al corpo, sul quale si sperimenta, si andrà man mano neutralizzando, fino a che sia scomparsa del tutto. Tornato il conduttore a la sua condizione normale potrà accadere bensì che taluni ioni lo vengano ad urtare, ma non vi è, evidentemente, ragione perchè questi siano piuttosto carichi di elettricità negativa che di positiva; sicchè non vedremo prodursi più nessuna elettrizzazione sensibile.

Un primo modo per disperdere le cariche elettro-statiche consiste nel far arrivare sul corpo, che si studia, i prodotti gassosi risultanti da la combustione.

Per le reazioni violente, che succedono in una fiamma, è, in fatti, estremamente probabile che nei gassi, che ne derivano, siano contenuti molti atomi liberi.

Per fare l'esperienza impiego un disco d'ottone, con gli orli bene arrotondati. Ho sospeso questo conduttore a tre cordoncini di seta non tinta (e quindi perfettamente isolante) e l'ho riunito con un filo metallico ad un comune elettroscopio a foglie d'oro.

Toccando il disco con un bastone di ebanite, che ho strofinato prima con la pelle di gatto, carico tutto il sistema di elettricità negativa. Come vedono le foglie dell'elettroscopio divergono ora fortemente.

Ma se, sotto al disco, ad un metro di distanza, pongo una candela accesa, la carica si disperde con rapidità, e le foglie d'oro si avvicinano, e cascano, da ultimo, una su l'altra.

Posso lasciare la candela per un certo tempo dove si trova ora, senza che si abbia a rilevare la minima traccia di elettrizzazione.

E questo è a punto quello che avevamo preveduto.

Ripeterò l'esperienza perchè la vedano ancora una

volta; e, magari, darò al disco una carica positiva, toccandolo con un tubo di vetro, sfregato con un pannolano. Le cose vanno esattamente come prima e nemmeno si osserva una differenza sensibile nella durata del fenomeno.

E notino che i prodotti della combustione disperdono le cariche elettrostatiche proprio perchè hanno quella speciale origine e non, per esempio, in causa della loro elevata temperatura.

Per vero io li posso raffreddare senza che essi perdano la virtù scaricatrice.

A tal' uopo mi servo di un lungo tubo di vetro, piegato a sèrpentino. Questo termina in basso con un imbuto di latta, ed è immerso in un vaso pieno d'acqua fredda.

Immediatamente sopra l'apertura superiore del serpentino colloco ora il disco d'ottone e lo carico, diciamo, di elettricità negativa. Poi metto sotto l' imbuto la candela accesa.

Già si vede che l'elettroscopio, lentamente, si scarica; e i gassi, che escono dal serpentino, sono così freddi che, se tolgo via il disco e pongo in suo luogo la mano, provo a pena una sensazione di calore.

D'altra parte possiamo riconoscere, con esperienze molto facili, che dell'aria semplicemente calda non ha alcuna azione su i corpi elettrizzati.

Dispongo, per esempio, in luogo del tubo a serpentino, un imbuto di latta, capovolto, a lungo collo, e lo fisso sopra un sostegno, in direzione alquanto inclinata a l'orizzonte. Ma in modo che l'orifizio superiore riesca prossimo al disco.

Quindi carico quest'ultimo, e scaldo l'imbuto, accostandogli in basso, da l'esterno, la fiamma oscura di un becco Bunsen.

L'elettroscopio mantiene inalterata la sua carica; e pure vi è ora nel tubo di latta una corrente ascendente di aria così calda che, se ponessi la mia mano dove sta il disco, non ve la potrei mantenere a lungo.

Il medesimo effetto, che producono i gassi emessi da una fiamma, può dare anche l'aria, che si trova in contatto immediato con un solido incandescente. Così ottengo di scaricare in breve tempo il mio elettroscopio, accostando al disco un saldatoio, scaldato al rosso, o pure una sigaretta accesa.

Come appare, la causa del fenomeno deve essere quella stessa di poc'anzi. In realtà si hanno anche quì delle combustioni, perchè il saldatoio si ossida e la sigaretta brucia.

§ 3 — Ma non è nemmeno necessario che l'azione, dell'ossigeno dell'aria sul corpo scaldato sia rapida e violenta perchè il fenomeno, del quale ci occupiamo, si produca. Qualche cosa di molto simile si osserva anche nelle ossidazioni lente.

Così, se presento al disco elettrizzato un pezzetto di fosforo, in cima a una bacchetta di vetro, l' elettroscopio si scarica rapidissimamente (50).

E badino che l'esperienza non riesce se il fosforo non *fuma*; vale a dire se non accadono a la sua superficie dei fenomeni chimici.

§ 4. — Un modo completamente diverso per ionizzare l'aria fu suggerito, come quello che precede, dal Naccari (51). E consiste nel far scoccare delle scintille in prossimità del corpo, del quale si vuole disperdere la carica. Tali scintille possono essere minutissime.

Mi valgo, per dimostrare questo interessante fenomeno, di un piccolo rocchetto del Rhumkorff, a le cui estremità polari ho fissato due fili di rame, terminanti in punta. I fili sono piegati in modo che si possano produrre delle brevi scintille (di tre o quattro millimetri) a piccola distanza dal solito disco (fig. 99).

Carico quest'ultimo nel modo consueto e, per mezzo di una pila a bicromato, faccio agire il rocchettino.

L'effetto su l'elettroscopio è quasi istantaneo, sicchè in questo caso la dispersione deve essere rapidissima.

Avevo dato ora al disco una carica positiva; posso ricaricarlo, negativamente questa volta, e ripetere l'esperienza. Tutto succede a punto come prima.

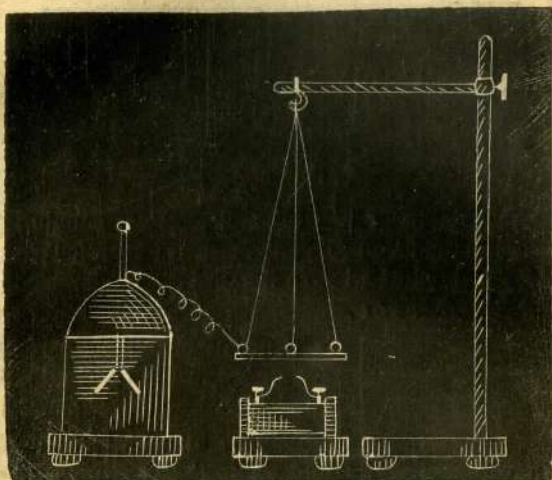



Fig. 99.

Anche in questo caso, come in quello dei prodotti della combustione, non è difficile dimostrare che l'aria ionizzata conserva per alcun tempo, e trasporta con sè la virtù scaricatrice. A l'uopo è necessario produrre una dissociazione alquanto energica, ciò che riesce assai bene con l'apparecchio, che vedono quì (52).

Si tratta di un grosso tubo cilindrico di vetro, chiuso con due tappi a le estremità. A traverso a i tappi passano altre due canne di minore diametro, per le quali si conduce e si fa effluire il gasse, che si vuole ionizzare.

Dentro al tubo grande sta una striscia rettangolare di ebanite, e su questa è fissato un filo di platino a zic-zac (fig. 100). Il filo è interrotto in quattro punti e le interruzioni hanno una lunghezza di mezzo centimetro. Le estremità del conduttore escono a l'aperto e le posso collegare

con i poli di un rocchetto di media grandezza. Per ottenere degli effetti più intensi unisco ancora al rocchetto due bottiglie di Leida.

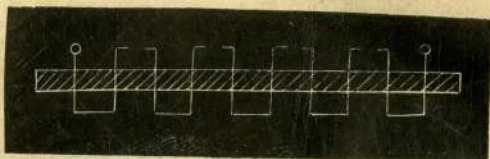



Fig. 100.

E poi, con un grosso tubo di gomma, congiungo una delle canne sottili con la camera di un mantice; e da ultimo colloco davanti a l'altra il solito disco, che ho disposto verticalmente (fig. 101).

Fig. 101.

Carichiamo l'elettroscopio e facciamo agire il rocchetto. Si sentono scoccare delle scariche rumorose (e, in fatti, nell'interno del tubo vi deve essere ora tutta una fila di scintille); ma l'elettroscopio non dà segno di dispersione.

In vece il fenomeno si produce se faccio funzionare il mantice; vale a dire se porto in contatto con il disco elettrizzato l'aria, che fu ionizzata da le scintille.

§ 5. — Voglio ancora accennare ad un altro fatto, di scoperta recente, che ha una certa analogia con quelli, che ho descritto fin quì.

Ricordano senza dubbio come, parlando delle scariche elettriche, che attraversano un gasse rarefatto, ho detto Loro che, se la pressione, nel tubo a vuoto, scende al disotto di un certo limite, si mostrano delle apparenze luminose estremamente interessanti, a le quali si dà il nome di raggi catodici.

Orbene fu trovato, l'anno scorso, dal Röntgen, che un tubo, nel quale si eccitino dei raggi catodici, esercita a l'esterno certe influenze, così che si può dire che esso *emette* delle speciali radiazioni. Queste radiazioni si chiamano ora comunemente raggi del Röntgen o raggi X.

Esse attraversano quasi tutti i corpi (salvo i metalli pesanti in strati un po' spessi), eccitano la fluorescenza in certe sostanze, impressionano le lastre fotografiche, e, quello che più importa per noi, se percorrono un gasse, mettono gli ioni in libertà (53).

Volendo verificare questo fatto bisogna prendere alcune precauzioni. E per vero un tubo a vuoto, caricandosi staticamente, quando è attraversato da le scariche, esercita, per ciò solo, un'influenza su l'elettroscopio.

Per evitare queste cause d'errore io pongo davanti al disco d'ottone, che impiegavo dianzi e che continuo a tenere verticale, una grossa lastra di piombo, nella quale, in corrispondenza a punto del disco, è praticata una finestra, che chiudo con una reticella metallica. Metto questo schermo in comunicazione con il suolo e carico l'elettroscopio.

E poi, davanti a la finestra, colloco il tubo a vuoto.

E' quello stesso tubo periforme, un elettrodo del quale è formato da una croce d'alluminio, che impiegai già altra volta (*). Ora abbasso la croce, e stabilisco le congiunzioni fra gli elettrodi e i poli di un rocchetto del Ruhmkorff; quindi eccito quest'ultimo per modo da ottenere un catodo sul dischetto, che sta nella parte più stretta del tubo.

Immediatamente si forma su la base della pera una bella macchia luminosa verde-erba e l'elettroscopio si scarica con una certa rapidità.

Anche quì non vi è differenza di comportamento fra le cariche positive e le negative; anche quì l'azione non si esercita direttamente su la superficie del disco, ma bensì per mezzo dell'aria, che lo circonda.

(*) Si confronti la lezione terza.

Lo dimostro nel solito modo, procurando che l'aria si ionizzi da prima e quindi venga ad incontrare il corpo elettrizzato.

A tal' uopo tolgo via il pallone periforme e dispongo davanti a la finestra un tubo di latta a tre piegature (fig. 102) (54). Una delle estremità di questo tubo viene a terminare davanti al disco, l' altra si può collegare con il mantice.

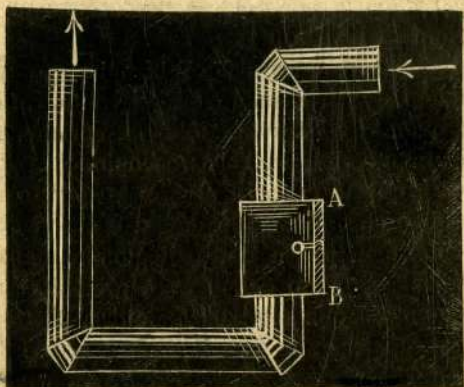



Fig. 102.

Quando si soffia, l'aria deve percorrere tutta la canna di latta prima d'arrivare al conduttore elettrizzato (le treccie, nella figura, indicano la direzione della corrente).

Ora nella canna è inserita una camera cubica, anche a pareti metalliche, che reca sopra un fianco una finestra di mica (proiettata in *AB* nel disegno); davanti a questa vogliamo collocare il tubo a vuoto.

Do al disco una carica di segno qualunque, per modo che le foglie dell'elettroscopio divergano fortemente; quindi faccio agire il mantice, tenendo il tubo in riposo. Come vedono non vi è il minimo accenno a dispersione. E nemmeno si osserva nulla se sospendo di soffiare ed eccito i raggi catodici.

Ma la dispersione comincia subito, e procede con una certa rapidità, se faccio agire contemporaneamente il mantice e il rocchetto.

Non starò a discutere quale sia il meccanismo del fenomeno; la discussione ci porterebbe lontano e non approderebbe a nulla, perchè la natura dei raggi del Röntgen è ancora male conosciuta. Ciò che importa a noi è solamente di stabilire che abbiamo in essi un nuovo mezzo per rivelare l'esistenza delle cariche elettriche nelle molecole gassose dissociate.

E dopo tante prove il fatto mi sembra sufficientemente stabilito.

§ 6. — Ora queste cariche, che le molecole, scindendosi, vengono a manifestare, è ragionevole supporre che esistano già, prima della scissione, su i loro sostegni materiali.

Se così è, ci possiamo domandare quale effetto (elettromagnetico) debba prodursi, quando si imprima a le particelle, che costituiscono un gasse, un rapido movimento di vibrazione.

È questo un caso particolare di un problema assai più generale, che si formula chiedendo quale sarà il comportamento elettromagnetico di una carica elettrica trasportata, con una certa rapidità, a traverso lo spazio.

A tale quesito la teoria risponde con dire che le correnti di *convezione* non si distinguono per nulla da le ordinarie correnti di *conduzione*. A pari intensità sono uguali gli effetti su l'ago calamitato; e reciprocamente sono uguali le azioni di un campo magnetico sopra un getto di particelle elettrizzate e sopra un conduttore flessibile.

In pratica è assai difficile di verificare questo, che la teoria prevede. Finora si hanno tre sole esperienze su l'argomento. E concordano bene con i resultati teorici.

Anzi tutto, fu dimostrato dal Rowland che una circolazione ininterrotta di materia elettrizzata agisce come una corrente ordinaria (55).

Nelle sue esperienze il corpo, destinato a trascinar

seco, movendosi, la sua carica, era un disco di ebanite, con il diametro di ventun centimetri e lo spessore di mezzo centimetro.

Questo disco poteva rotare, rapidissimamente, intorno ad un asse verticale, che lo attraversava per diritto nel centro; così da raggiungere una velocità di sessantun giri al secondo.

L'ebanite era dorata su le due faccie, ma la doratura non veniva in contatto con l'asse.

Parallelamente a quel primo disco, sopra e sotto, a piccola distanza, ne erano disposti altri due, più grandi, di vetro, forati nel mezzo per modo che l'asse di rotazione li attraversava senza toccarli.

Anche questi dischi erano dorati, ma sopra una sola faccia, e secondo una zona anulare, con i diametri di nove e ventiquattro centimetri; tali armature si mettevano in comunicazione con il suolo.

In vece il disco di ebanite era elettrizzato per mezzo d'una punta, vicinissima al suo contorno e comunicante con uno dei poli di un condensatore, il cui secondo polo si poneva a terra.

A pochi millimetri da la lastra di vetro più alta, il Rowland sospese un sistema astatico di aghi magnetici, assai sensibile, tutto circondato da un involucro metallico, in comunicazione con il suolo.

Quando si metteva in movimento il disco di ebanite, il sistema astatico girava di un certo angolo; e la deviazione cambiava di segno se cambiava di segno la carica comunicata a l'organo rotante.

Il Rowland verificò che la forza magnetica, dovuta a la convezione, era, nei limiti d'esattezza delle sue esperienze, a punto così grande come la teoria richiede.

§ 7. — Un altro esperimento, che per il suo significato si ricollega a quello che ho descritto ora, si può fare dimostrando la forza magnetica prodotta dal passaggio dell'elettricità a traverso ad un elettrolitro.

Prendo una vaschetta prismatica di vetro, di otto per dieci per venti centimetri, e la riempio con una soluzione di solfato di rame. Immergo in essa, a le estremità, due lastre quadrate di rame, che collego, a traverso ad un interruttore, con i poli di una pila assai potente. E poi, a un centimetro sopra la superficie del liquido, sospendo un ago magnetizzato.

Per ora la corrente è interrotta e l'ago è parallelo al lato più lungo della vaschetta.

Ma se chiudo il circuito esso gira senz'altro di novanta gradi e si arresta nella nuova posizione. Si potrebbe anche verificare che il senso della deviazione è quello ordinario.

§ 8. — Un'ultima conferma per le vedute teoriche, delle quali discorro, si può trarre dal modo, con che si comportano i raggi catodici in un campo magnetico.

Di questi, in fatti, ho già detto altra volta che risultano, secondo ogni probabilità, di getti di particelle elettrizzate.

E poi che un cordoncino metallico, percorso da una corrente intensa, si avvolge in spire intorno ad una calamita rettilinea, ci dobbiamo aspettare che, quando si collochi un tubo del Crookes in un campo magnetico, i raggi catodici si torcano essi pure ad elica, intorno a la direzione della forza.

Questo accade in realtà.

Verifichiamo la cosa, da prima, per il caso del conduttore flessibile.

Io dispongo verticalmente un'elettrocalamita rettilinea e lavorata in modo che gli estremi del filo di rame, avvolto intorno ad essa, escono in basso entrambi. Anche dal basso la voglio reggere con la forchetta di un sostegno.

Di più, in prossimità del magnete, sospendo ancora un pezzo di cordoncino metallico, i capi del quale comunicano con i poli d'una pila. Questo cordoncino è alquanto lento, così che, volendo, lo potrei girare due o tre volte intorno a l'elettrocalamita.

E bene, eccitiamo quest'ultima, per modo che a l'estremo superiore si formi un polo sud. Quindi facciamo passare nel cordoncino una corrente, diretta dal basso a l'alto; subito esso si avvolge intorno al magnete e forma un'elica, le spire della quale scendono da sinistra a destra.

Se invertissi la corrente, che crea il campo, o quella, che percorre il conduttore flessibile, l'avvolgimento avverrebbe in senso opposto.

Andiamo innanzi; stacchiamo il cordoncino e togliamolo via, e collochiamo, in vece, sopra il magnete il solito tubo a pera, per modo che la base resti in basso, e l'asse sia parallelo a quello del campo magnetico.

Eccitando la calamita e i raggi catodici, questi non appaiono più rettilinei; ma, in vece, si torcono a vite, come faceva dianzi il cordoncino di rame.

Il parallelismo dei due casi è perfetto.

§ 9. — Se, in base a questi pochi fatti sperimentali, si vuole ammettere in tutta la sua generalità il resultato della teoria, noi dobbiamo concludere che, quando un atomo materiale vibri secondo una retta, trascinando seco la sua carica elettrica, esso produrrà, tutto a l'intorno, gli stessi effetti che produce un primario del Hertz.

Solamente quì il periodo della perturbazione emessa non dipende più come prima da le dimensioni del sistema irraggiante.

Si ottiene per questa via un nuovo modello delle molecole dei corpi, completamente diverso da l'altro, che abbiamo studiato nelle scorse lezioni.

Il nuovo modello può rendere gli stessi servizii, che rendeva quel primo e inoltre, come osservavo, sfugge assai meglio a talune difficoltà.

Che le molecole di un dato gasse, portate a l'incandescenza, emettano luce di periodo determinato, si spiega in questa ipotesi, ammettendo che, a punto in virtù dei vincoli, che intercedono fra essi, gli atomi compiano, dentro la molecola, delle oscillazioni completamente definite.

Io non mi voglio trattenere più a lungo sopra un argomento, che non presenta, in fondo, un interesse molto grande (*) Piuttosto accennerò, prima di chiudere il corso, ad alcuni altri fatti, nei quali si rivela l'azione dei gassi ionizzati.

§ 10. — Per vero tali agenti esercitano delle influenze notevolissime sopra le scariche elettriche.

Il meccanismo di questi fenomeni è ancora molto oscuro, mi limito quindi a ripetere alcune esperienze, senza cercare di darne un'interpretazione teorica.

E per amore di semplicità, scelgo il caso dei prodotti della combustione (58).

Ho disposto quì uno spinterometro munito, al solito, di palline e ne ho congiunte le aste con i poli del rocchetto; regolo la corrente che eccita quest'ultimo, per modo che la lunghezza delle scintille non possa superare il centimetro. Quindi allontano le palline ad una distanza un po' maggiore. Quantunque il rocchetto funzioni, non si producono scariche, come è naturale.

Accosto ora a l'intervallo, dal basso, la fiamma oscura di un becco Bunsen.

Immediatamente si stabilisce un flusso di scintille rossastre, poco rumorose.

I prodotti della combustione agevolano dunque, in qualche modo, il passaggio delle scariche.

Si può domandare se l'influenza si eserciti sopra gli elettrodi o, in vece, su lo strato d'aria interposto.

Per rispondere a questo quesito basta modificare un poco la disposizione dell'esperienza.

Torno ad avvicinare alquanto le palline, per modo che le scintille passino, quindi pongo fra esse, raccoman-

---

(*) La teoria delle vibrazioni degli ioni fu svolta in tutte le sue conseguenze dal Lorentz (56). Per l'altra ipotesi, che riguarda le molecole dei corpi come conduttori, analoghi a quelli del Hertz, si confrontino i bei lavori del Koláczek (57).

dandola ad apposito sostegno (fig. 103), una lastra di vetro. Questa lastra arriva, con il suo orlo superiore, un po' più in alto dell'asse dello spinterometro, così che il flusso delle scintille si interrompe di nuovo.

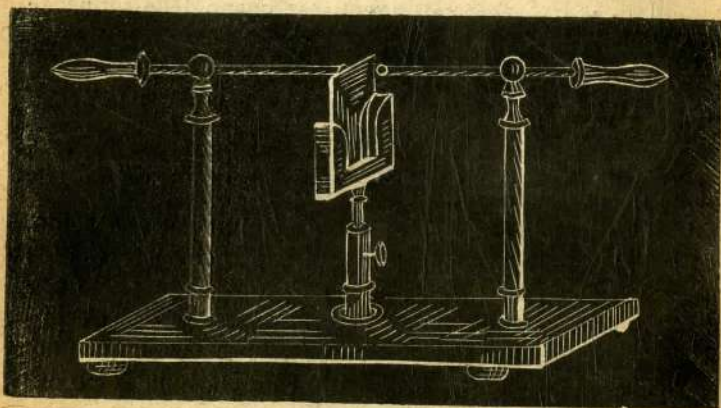



Fig. 103.

Se ora accosto, come prima, la fiamma, ci accorgiamo subito che le cose vanno diversamente secondo che la tengo da una parte della lastra di vetro, o pure, in vece, da l'altra.

Nelle condizioni attuali dell'esperienza non v'è azione di sorta quando la fiamma rimane a sinistra, mentre si ha lo stesso effetto di dianzi se la porto a destra. Invertendo i poli del rocchetto il fenomeno si inverte. L'influenza si esercita dunque sopra uno degli elettrodi, e propriamente si trova che l'elettrodo sensibile è il negativo.

Un fatto del tutto diverso si può osservare impiegando, in luogo dello spinterometro a palle, uno spinterometro a punte, e facendo l'intervallo così grande che le scintille passino con difficoltà, ma pure passino ancora.

Noi otteniamo questo con una distanza esplosiva di cinque centimetri circa.

Pongo la fiamma come prima, sotto l'intervallo, tenendola alternativamente a i due estremi.

Come vedono, in un caso non si esercita azione, nell'altro la scarica è ostacolata e le scintille cessano.

E bene, si potrebbe verificare che l'elettrodo sensibile è ora il positivo.

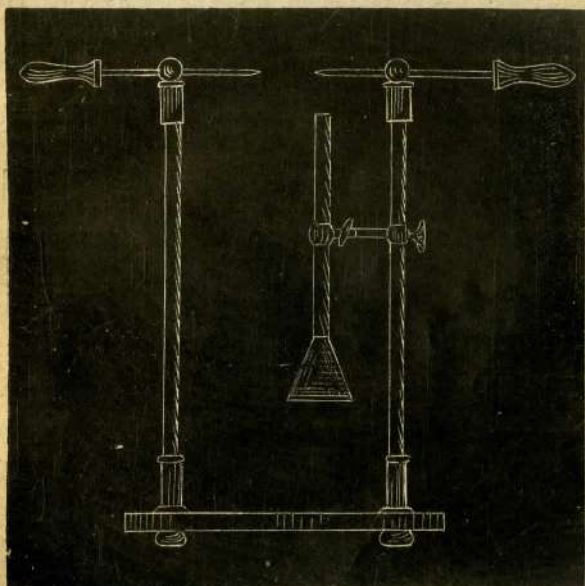



Fig. 104.

L'esperienza riesce anche se, in vece di porre il becco Bunsen immediatamente sotto le punte, faccio arrivare a queste i prodotti della combustione, a traverso ad un lungo imbuto capovolto (fig. 104). La stessa avvertenza vale per l'altro effetto che ho mostrato poco fa.

Fatti analoghi si ottengono impiegando degli agenti diversi, per esempio i raggi del Röntgen (59).

***

§ 11. — Ciò, che ho esposto di più importante in questa ultima lezione, si riassume dicendo che gli atomi della materia, secondo ogni probabilità, recano delle cariche elettriche, a le oscillazioni delle quali si *può* attribuire l'emissione della luce. Tale fenomeno sarebbe ad ogni modo di natura elettromagnetica.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

Avvertenza. — Nelle citazioni il numero arabico fra parentesi tonde, se v'è, indica la *serie*; il numero romano il *volume*; la cifra arabica seguente l'*anno* della pubblicazione.

I lavori del Hertz sono citati dal libro: *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* (Leipzig, Barth, 1892). Quì la cifra romana sta ad indicare la *memoria*.

Similmente i lavori del Righi sono citati dal volume: *L'ottica delle oscillazioni elettriche* (Bologna, Zanichelli, 1897). Quì il numero romano indica la *parte*, la cifra arabica successiva il *capitolo*.

(1) A. Garbasso. [*N. Cim.*, (4), III, 1896].

(2) G. Govi. [*N. Cim.*, (1), XXI, 1866].

(3) E. Villari. [*Mem. R. Acc. d. Scienze di Bologna*, (4), IV, 1883].

(4) Quest'esperienza si deve al Sig. Conte E. Siccardi; egli mi ha permesso cortesemente di pubblicarla.

(5) A. Righi. [*Mem. R. Acc. d. Scienze di Bologna*, (4), II e III, 1881-82].

(6) Secondo il Caverni (*Storia del Metodo sperimentale in Italia*, II, [Firenze, Civelli, 1892]) la teoria, che va comunemente sotto il nome del Poisson, si dovrebbe, in vece, attribuire al P. Benedetto Castelli, discepolo del Galilei.

A proposito di un *Discorso* del Castelli intorno al magnete (dell'anno 1639), il Caverni scrive:

Aveva il nostro Autore nel citato Discorso proposta la soluzione di un problema importantissimo e principalissimo in questa scienza nuova, il qual problema era: come la Calamita potesse operare in distanza e attraverso a corpi amagnetici, che vi fossero in mezzo frapposti. A tale intento egli presupponeva che tutti i corpi, di qualunque natura si fossero, tenessero nella loro sostanza disseminate particelle di calamita, le quali mobilissime per la loro piccolezza fossero disposte a rivolgersi facilmente per quel verso, a cui fossero dirette dalla forza del Magnete. Così fatti corpuscoli, disordinatamente disseminati, costituiscono secondo il Castelli i corpi magnetici, ch'ei chiama di *second'ordine*. Presupposte le quali cose « si apre, segue a dire l'Autore, spaziosa strada di render la ragione come pare che la virtù della Calamita penetri in certo modo quasi in istante ogni sorta di corpo, e che si faccia la sua operazione come in un momento con le altre calamite e con i ferri senza toccarli, in distanza molto notabile, imperocchè quando si vedrà v. g. che la Calamita operi trapassando il vetro, il legno, l'argento, ecc., noi possiam dire che i corpuscoli di second'ordine sparsi per la sostanza de' suddetti corpi, con la presenza della Calamita, subito vengono ordinati calamiticamente, e però essi, senza introdurre altra penetrazione di virtù, sono quelli che operano con i loro ordinati toccamenti, e rimossa la Calamita, ritornando nella loro primiera costituzione, mancano di quella forza ».

(7) A. Garbasso. [*Atti R. Acc. di Scienze di Torino,* XYXII, 1897].
cfr. H. Ebert. [*Wied. Ann.,* XLIX, 1893].
(8) W. Feddersen. [*Pogg. Ann.,* CXIII, 1861].
(9) H. Hertz. [*Untersuchungen,* X].
(10) W. v. Bezold. [*Pogg. Ann.,* CXL, 1870].
(11) E. Lecher. [*Wied. Ann.,* XLI, 1890].
(12) O. J. Lodge. [*Proc. R. Society,* L, 1891].
(13) H. Hertz. [*Untersuchungen,* XI].
(14) F. Himstedt. [*Wied. Ann.,* LII, 1894].
(15) R. Blondlot. [*C. R.,* CXVII, 1893].
(16) F. Savart. [*Ann. d. ch. et d. phys.,* (2), LIII, 1833].
(17) H. Ebert. [*Jahrbuch für Photographie,* IX, 1895].
(18) H. Hertz. [*Untersuchungen,* XI].
(19) I. Klemenczicz u. P. Czermak [*Sitz. ber. K. Ak. d. Wissenschaften in Wien,* CI, 1892].
(20) L. Boltzmann. [*Wied. Ann.,* XL, 1890].
(21) A. Garbasso. [*Rend. R. Acc. d. Lincei,* III, 1894].
(22) O. Wiener. [*Wied. Ann.,* XL, 1890].
(23) H. Hertz. [*Untersuchungen,* VIII].
(24) I. Klemenczicz u. P. Czermak. [*Sitz. ber. K. Ak. d. Wissenschaften in Wien,* CI, 1892].
(25) A. Righi. [*N. Cim.,* (3), III, 1878].
(26) A. Garbasso. [*Mem. R. Acc. d. Scienze di Torino,* (2), XLVI, 1896].
(27) A. Righi. [*Ottica d. Oscillazioni,* II, 2].
(28) G. Udny Jule. [*Proc. R. Society,* LIV, 1893].
(29) A. Garbasso. [*Atti R. Acc. d. Scienze di Torino,* XXVIII, 1893].
(30) A. Garbasso. [*Atti R. Acc. d. Scienze di Torino,* XXVIII, 1893].
(31) L. Zehnder. [*Wied. Ann.,* LII, 1894].
(32) A. Garbasso. [*Mem. R. Acc. d. Scienze di Torino,* (2), XLVI, 1896].

(33) H. Rubens u. E. F. Nichols. [*Sitz. ber. K. Ak. d. Wissenschaften zu Berlin*, LII, 1896].
(34) A. Righi. [*Ottica d. Oscillazioni*, I, 1].
(35) E. Sarasin et L. De la Rive. [*Arch. d. sciences phys. et nat.*, (3), XXVIII, 1892].
(36) A. Garbasso u. E. Aschkinass. [*Wied. Ann.*, LIII, 1894].
(37) E. Sarasin et L. De la Rive. [*Arch. d. sciences phys. et nat.*, (3), XXII, 1889; (3), XXIII, 1890; (3), XXIX, 1893].
(38) E. Branly. [*C. R.*, CXI, 1890].
(39) A. Le Royer et P. v. Berchem. [*Arch. d. sciences phys. et nat.*, (3), XXXI, 1894].
(40) A. Garbasso et A. Garbasso. [*Arch. d. sciences phys. et nat.*, (4), IV, 1897).
(41) H. Hertz. [*Untersuchungen*, XI].
(42) A Righi. [*Ottica d. Oscillazioni*, II, 5].
(43) A. Righi. [*N. Cim.*, (3), XXXV, 1894].
(44) A. Garbasso. [*Atti R. Acc. d. Scienze di Torino*, XXX, 1895].
(45) A. Righi. [*Ottica d. Oscillazioni*, II, 7].
(46) A. Righi. [*Ottica d. Oscillazioni*, II, 7].
(47) A. Righi. [*Ottica d. Oscillazioni*, II, 7].
(48) A. Garbasso. [*Atti R. Acc. d. Scienze di Torino*, XXX, 1895].
(49) E. Pringsheim. [*Sitz. ber. K. Ak. d. Wissenschaften zu Berlin*, XVIII, 1895].
(50) A. Naccari. (*Atti R. Acc. d. Scienze di Torino*, XXV, 1889].
(51) A. Naccari. [*Atti R. Acc. d. Scienze di Torino*, XXIV, 1888].
(52) E. Villari. [*Rend. R. Acc. d. Lincei*, V, 1896].
(53) W. K. Röntgen. [*Sitz. ber. Würz. phys. med. Gesell.*, 1896].
(54) A. Battelli e A. Garbasso. [*N. Cim.*, (4), III, 1896].

(55) H. v. Helmholtz. [*Wissenschaftliche Abhandlungen*, I, 1882].

(56) H. A. Lorentz. [*Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen*, ecc., Leiden, Brill, 1895].

(57) F Koláczek [*Wied. Ann.*, XXXII, 1887].

(58) A. Garbasso. [*N. Cim.*, (4), III, 1896].

(59) A. Sella e Q. Maiorana. [*Rend. R. Acc. d. Lincei*, V, 1896].

INDICE SOMMARIO